

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID

FACULTAD DE BELLAS ARTES
Departamento de Escultura



**EL VIDRIO COMO MATERIA ESCULTORICA:
TECNICAS DE FUSION, TERMOFORMADO, CASTING Y
PASTA DE VIDRIO**

MEMORIA PARA OPTAR AL GRADO DE DOCTOR
PRESENTADA POR
Estefanía Sanz Lobo

Bajo la dirección del doctor:
Pedro Terrón Manrique

Madrid, 2005

ISBN: 84-669-2721-2

EL VIDRIO COMO MATERIA ESCULTÓRICA

Técnicas de fusión,
termoformado, casting y
pasta de vidrio.

TESIS DOCTORAL

Realizada por D^a Estefanía Sanz Lobo
Dirigida por el Dr. D. Pedro Terrón Manrique

Departamento de Escultura
Facultad de Bellas Artes
Universidad Complutense de Madrid

A mi familia.
A Pablo.
A Violeta.

EL VIDRIO COMO MATERIAL ESCULTÓRICO

Indice

Introducción. Hipótesis.

• ¿Por qué el vidrio es desconocido para muchos escultores contemporáneos?	4
• ¿Qué cualidades interesantes como materia puede aportar el vidrio a la escultura?	10
• ¿Puede aportar algo el vidrio al arte actual?	11
• ¿Puede considerarse “arte” una obra realizada con vidrio?	12
• Hipótesis de partida: el vidrio es una materia adecuada para la escultura.	13
• Hipótesis de investigación: la escultura en vidrio puede trabajarse con recursos e infraestructura limitados.	14
• Las distintas partes de esta tesis	15

I. Fundamentación.

I.1. EL VIDRIO A LO LARGO DE LA HISTORIA.

Técnicas, materiales y producciones más importantes

I.1.1. El vidrio antiguo antes de la invención del vidrio soplado	18
I.1.2. La invención del vidrio soplado	30
I.1.3. La vidriería tras decaer el imperio romano	35
I.1.4. Vidrio veneciano	41
I.1.5. El vidrio alemán y bohemio	46
I.1.6. El vidrio inglés	49
I.1.7. El vidrio en Norteamérica	51
I.1.8. La Real Fábrica de Cristal de la Granja.	51
I.1.9. El vidrio artístico en los siglos XVIII y XIX	52
I.1.10. Expansión y automatización	53

I.2. ESCULTURA EN VIDRIO.

Vidrio contemporáneo.

I.2.1. La transición desde el siglo XIX y los primeros años del XX	56
I.2.2. Los años 30 y 40 del siglo XX	60
I.2.3. La escultura en vidrio a partir de los años 50	63
I.2.4. La escultura en vidrio entre los años 70 y los 90 del siglo XX	68

I.3. EL VIDRIO COMO MATERIAL. CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS	84
I.3.1. Definición de vidrio	84
I.3.2. Composición de los vidrios	86
I.3.3. Propiedades de los vidrios	88
I.3.4. Fases en la elaboración del vidrio	90
I.3.5. Recocido y enfriamiento del vidrio	91
I.3.6. Defectos en el vidrio. La desvitrificación	92
I.3.7. La compatibilidad entre distintos tipos de vidrio	93
I.3.8. Diferentes tests de compatibilidad entre vidrios	95
I.3.9. Construcción de un polariscopio	97
I.3.10. Funcionamiento del polariscopio. Polarización y birrefringencia	99
I.3.11. Diferentes tipos de tensiones apreciadas con el polariscopio. Grados de tensión aceptables o inaceptables	102

II. Diversas técnicas de trabajo con vidrio que pueden usarse para la escultura.

II.1. TÉCNICAS DE TRABAJO ESCULTÓRICO CON VIDRIO CALIENTE	105
II.1.1. Trabajo del vidrio caliente en masa	106
II.1.2. Vidrio soplado a boca	107
II.1.3. Creaciones escultóricas con vidrio utilizando el procedimiento de colada	115
II.1.4. Vidrio trabajado con soplete o candilón	128
II.2. TÉCNICAS DE TRABAJO DEL VIDRIO EN FRÍO.	132
II.2.1. TÉCNICAS TRADICIONALES DE TRABAJO EN FRÍO	132
II.2.2. Grabado en vidrio	136
II.2.3. Corte de vidrio	140
II.2.4. Talla de vidrio	140
II.2.5. Pulido del vidrio	141
II.2.6. Pegamentos especiales para vidrio	141
II.2.7. Las distintas aplicaciones de las técnicas tradicionales de trabajo del vidrio en frío	144
II.2.8. OTRAS TÉCNICAS DE TRABAJO EN FRÍO	144

III. Utilización del horno cerámico y del horno de fusión. Creaciones escultóricas con las técnicas de fusión.	147
III.1. UTILIZACIÓN DEL HORNO. PRUEBAS PREVIAS.	
III.1.1.1. Introducción	148
III.1.1.2. Principales pruebas que se deben realizar en el horno	149
III.1.1.3. Las temperaturas críticas de cada tipo de vidrio	150
III.1.2. TEST DE REBLANDECIMIENTO.	152
III.1.2.1. Objetivo del test	152
III.1.2.2. Desarrollo de la prueba	152
III.1.3. TEST DE TERMOFORMADO. Homogeneidad de la temperatura del horno en el intervalo 600º-700º C.	157
III.1.3.1. Objetivo del test	157
III.1.3.2. Desarrollo de la prueba	157
III.1.4. TEST DE FUSIÓN TOTAL Y EN RELIEVE. Homogeneidad de temperatura en el intervalo 750º-850ºC.	163
III.1.4.1. Objetivo del test	163
III.1.4.2. Desarrollo de la prueba	163
III.1.4.3. Tests en un horno específico para fusión de vidrio	170
III.2. LOS PROCESOS DE FUSIÓN.	177
III.2.1. TÉCNICAS DE FUSIÓN EN RELIEVE Y FUSIÓN TOTAL.	177
III.2.1.1. Los distintos momentos del proceso de trabajo en las técnicas de fusión.	178
III.2.1.2. Preparación de las obras para fusión. Corte de láminas de vidrio.	186
III.2.1.3. Preparación de los vidrios para la fusión. Distintos procedimientos de trabajo .	191
III.2.1.4. Antidesvitrificadores.	193
III.2.1.5. Separadores.	197
III.2.1.6. De la fusión en relieve a la fusión total. Posibilidades expresivas en el ámbito artístico.	200
III.2.1.7. Algunas variantes de los procesos de fusión. Acumulaciones. Prefusiones. Fusión de hilos.	206

III.2.2. DISTINTOS TIPOS DE VIDRIO PARA LAS TÉCNICAS DE FUSIÓN. Utilización de vidrios coloreados.	211
III.2.2.1. Términos relativos a los vidrios planos	212
III.2.2.2. Vidrios iridiscentes	213
III.2.2.3. Vidrios dicroicos	214
III.2.2.4. Algunas generalidades respecto al uso de vidrios coloreados.	215
III.2.2.5. El vidrio float. Características técnicas.	217
III.2.2.6. Vidrios compatibles especiales para fusión y termoformado. Bullseye. Spectrum System 96. Wasserglass.	221
III.2.2.7. Los vidrios esmaltados	224
III.2.2.8. Vidrio coloreado procedente del reciclado: los cascos de color	229
 III.2.3. BÚSQUEDA DE UNA PALETA DE COLORES. Experimentación con fritas para vidrio, y adaptación de esmaltes para cobre, para vidrio, y colores cerámicos.	 239
III.2.3.1. Objetivo de las pruebas	240
III.2.3.2. Desarrollo de las pruebas	241
III.2.3.3. Preparación de las pruebas. Selección de materiales	241
III.2.3.4. Curvas de temperatura y sus resultados	245
III.2.3.5. Diferentes problemas encontrados	249
III.2.3.6. Consideraciones técnicas respecto a la adaptación de esmaltes y vidriados para su uso en vidrio.	257
III.2.3.7. Los óxidos como agentes colorantes del vidrio en las técnicas de fusión.	265
III.2.3.8. Esmaltes y vidriados: aditivos y proporciones experimentados	265
III.2.3.9. Posibilidades expresivas de estas técnicas. Pintura con esmaltes. Serigrafía. Otras técnicas fotográficas y de impresión. Frit Painting o pintura de luz.	270
III.2.3.10. Técnicas adaptadas de otros ámbitos. Sobrecubierta metálicos y lustres. Barras de pastel cerámico. Vidrio grabado y esmaltado.	280
 III.2.4. VOLUMEN INTERNO EN EL VIDRIO. Experimentación con diversos elementos incluidos en la masa vítrea.	 290
III.2.4.1. Inclusiones	291
III.2.4.2. Experimentación con inclusiones.	293
III.2.4.3. Tipos de inclusiones experimentadas. Inclusiones orgánicas	295
III.2.4.4. Inclusiones inorgánicas. Materias vítreas y esmaltes.	300

III.2.4.5.	Materiales metálicos. Cobre. Estaño. Aluminio. Hierro. Combinación de varios metales. Diversos tipos de panes metálicos.	310
III.2.4.6.	Arenas. Arena de sílice. Arena de rutilo. Micas de colores. Piedra pómez en polvo.	336
III.2.4.7.	Fibra de vidrio. Fibra cerámica.	342
III.2.4.8.	Inclusiones de aire.	345
III.2.5. CREACIÓN DE VOLUMEN MEDIANTE LAS TÉCNICAS DE FUSIÓN. Termoformado y fusión en relieve.		354
III.2.5.1.	Texturas y relieves bajo el vidrio. Técnicas de termoformado.	354
III.2.5.2.	Características generales de los moldes. Moldes cóncavos y convexos que contienen al vidrio completamente. Moldes en los que el vidrio cae libremente desde soportes. Combinaciones de textura y volumen. Cálculo de la cantidad de vidrio necesario para un termoformado.	357
III.2.5.3.	Trabajo térmico: tiempo y temperatura. Calor en los distintos procesos de termoformado. Moldes convexos, piezas escultóricas grandes. Bajorrelieves y moldes para texturas. Choques térmicos durante el termoformado.	367
III.2.5.4.	Tipos de horno para termoformado.	370
III.2.5.5.	Tipos de moldes según su material. Objetos bajo el vidrio. Mallas metálicas. Fibra cerámica. Moldes con arcillas. Moldes de escayola refractaria. Arenas y piedra pómez en polvo. Carbonato de calcio. Otros moldes.	371

III.3. TÉCNICAS DE MOLDEADO DE VIDRIO: CASTING Y PASTA DE VIDRIO.	418
III.3.1. Moldes abiertos para casting	419
III.3.2. Moldes abiertos para pasta de vidrio	424
III.3.3. Moldes con contramolde para pasta de vidrio	426
III.3.4. Moldes con contramolde para casting	430
III.3.5. Trabajo con pasta de vidrio y casting a partir de modelos de cera	431
III.3.6. Materiales refractarios para moldes de pasta de vidrio y casting	433
III.3.7. Distintos vidrios que se pueden utilizar en casting y pasta de vidrio.	440
III.3.8. Llenado de los moldes	447
III.3.9. Horneado de las piezas. Curvas de temperatura en casting y pasta de vidrio	457
III.3.10. Acabado en frío de las piezas	463
III.3.11. Desvitrificaciones	464
 Conclusiones.	 467
Demostración de las hipótesis planteadas en la introducción.	467
El vidrio como material escultórico: mis esculturas y proyectos artísticos.	469
 Anexo. Texto íntegro de entrevistas con artistas que trabajan con vidrio.	 501
 Bibliografía	 511

Introducción

La primera vez que trabajé con vidrio, hace nueve años, quedé fascinada por este material. Sacarlo del crisol en estado líquido, como la miel, incandescente y deslumbrante, conseguir darle forma y hallar al final del proceso una pieza de una transparencia absoluta...

Como materia, el vidrio está lleno de contradicciones. La transparencia se opone a la rotundidad de las formas que pueden conseguirse, dándole una apariencia ligera, sin embargo es denso y pesado; tiene un aspecto líquido, como el agua, aunque es sólido y duro; puede parecer hielo, pero para fundirse o para adoptar su forma necesita ser como el fuego...

Desde mis primeras experiencias con vidrio me di cuenta de las enormes posibilidades expresivas que esta materia tiene. Confieso que al principio el mundo del vidrio artístico me era desconocido. No sabía nada de sus técnicas, de su historia, ni del trabajo contemporáneo con vidrio, a pesar de mi paso por la Facultad de Bellas Artes y de mi especialización en escultura. La atracción por este material y el deseo de saber más sobre él fueron las razones que me animaron a hacer esta tesis.

Durante estos años me he dado cuenta de que el vidrio artístico es todavía poco conocido en España. No hay muchos escultores que se dediquen al trabajo con vidrio o que utilicen el vidrio como un material más de sus obras. Las exposiciones de obras artísticas en vidrio son escasas. A pesar de la tradición vidriera española (Barcelona o la provincia de Madrid fueron centros vidrieros importantes en siglos pasados) carecemos de una historia de arte en vidrio tan fuerte como la que pueda existir, por ejemplo, en Francia o en Chequia, donde nunca se puso en duda que el vidrio fuera un material artístico de primer orden, y donde la escultura en vidrio ha tenido siempre una importancia enorme.

Esta tendencia está cambiando en los últimos años, gracias al esfuerzo de varias instituciones. El Centro Nacional del Vidrio de La Granja apoya el arte con vidrio en varios frentes; por un lado, imparte cursos monográficos dirigidos por artistas reconocidos internacionalmente, contribuyendo de este modo a la difusión de muchas técnicas artísticas con vidrio, y por otro, con su museo, en el que hay salas de arte contemporáneo internacional en vidrio, ha dado a conocer muchas de las cualidades artísticas de este material. Del Centro del Vidrio de Barcelona puede decirse lo mismo. Empiezan a aparecer las primeras galerías de arte interesadas por el vidrio o enfocadas sólo a este material. Y hay cada vez más artistas jóvenes que exploran las posibilidades expresivas del vidrio.

¿Por qué el vidrio es desconocido para muchos escultores contemporáneos?

El desconocimiento de las técnicas y tradiciones del vidrio puede deberse a varias razones. Creo que una de ellas es el ocultismo existente desde hace milenios en el ámbito vidriero, que ha dificultado que la información sobre posibilidades técnicas y materiales se difundiera con facilidad. El vidrio se presentaba así como algo lejano y poco asequible. El mundo del vidrio, desconocido, resultó por esa razón poco accesible al escultor contemporáneo.

Las técnicas de trabajo con vidrio se han mantenido en el más absoluto secreto casi desde su invención. Este oscurantismo puede relacionarse con dos cuestiones; por una parte, la naturaleza del trabajo con vidrio, cercano a la alquimia y muy imbuido de supersticiones, que intenta mantener sus dominios alejados de los “no iniciados”, y por otra, una simple cuestión económica de protección del mercado de determinados productos. En cualquier caso, esta situación ha dificultado en ciertos momentos históricos la transmisión de conocimiento y la evolución del arte del vidrio.

Las primeras reticencias a compartir los descubrimientos técnicos aparecen en unas tablillas de arcilla halladas en Mesopotamia, datadas en el siglo XVII a.C. y guardadas en el Museo Británico. Están escritas en cuneiforme, pero presentan varios criptogramas para dificultar la comprensión de las recetas de vidrio que contienen¹. Algunos siglos más tarde (s. VII a.C.), este secretismo continuaba, como se deduce de la lectura de algunas de las tablillas de la biblioteca del rey Assurbanipal, en las que hay distintas fórmulas para fabricar vidrio de color. En las recetas se muestra una extraña mezcla de ritual, magia y química práctica, muy habitual en los textos de esta época. Por ejemplo, cuando se describe la construcción del horno se menciona que debe buscarse “un día favorable de un mes favorable”, que en la casa del horno “hay que poner figuras de dioses embriones”, y que no debe estar junto al horno “ningún extraño ni nadie impuro”².

Si bien la extensión de las técnicas de trabajo con vidrio fue imparable, sobre todo a partir de la invención del vidrio soplado, encontramos nuevos escollos para el intercambio de información acerca del vidrio en la etapa medieval, cuando la organización en gremios aseguraba una fidelidad de por vida al taller de origen. El ejemplo más característico fue el gremio vidriero veneciano, cuya influencia comenzó en el siglo XIII y continuó hasta bien entrado el XVII. Existía pena de muerte para aquellos vidrieros que huyeran de la isla de Murano, donde estaban localizadas todas las vidrierías venecianas, ya que podrían difundir los secretos de fabricación de estas cotizadas piezas. Y parece que hay noticias históricas de cumplimiento de esta sentencia, no sólo en los vidrieros huidos, sino también en sus familias³.

La actitud de ocultación de los logros técnicos en vidrio continúa siendo en la actualidad un problema para la difusión de las técnicas de vidrio y, en

¹ FORBES, R.J. (1966), p. 312.

² Ibidem, p. 313.

³ FERNÁNDEZ NAVARRO (1991), p. 26.

consecuencia, para el avance y el desarrollo de la escultura en vidrio. “Ese ambiente de reserva y ocultismo que caracterizó a los vidrieros venecianos (...) ha constituido una herencia que los venecianos legaron a los vidrieros de épocas posteriores y que todavía hoy puede advertirse no sólo en muchos artesanos, sino también en la organización monopolística de las grandes industrias multinacionales de nuestros días.”⁴ Muchos artesanos y artistas contemporáneos en vidrio conocen y dominan multitud de procedimientos de trabajo en vidrio como los descritos en esta tesis, pero mantienen sus hallazgos técnicos, sus fórmulas y sus procedimientos de trabajo en “secreto”, hasta tal punto que en algunos libros actuales sobre el trabajo artístico con vidrio, se exhorta a los artistas a compartir con otros sus descubrimientos en aras del progreso común⁵.

Mientras en otros países como Francia, Alemania, Estados Unidos, Japón o Reino Unido (y por supuesto, Chequia), el arte en vidrio está alcanzando unos elevados niveles, tanto de calidad como de número de obras realizadas en este material, en España aún se está comenzando este camino. Creo que parte de las dificultades que encuentra el artista que se inicia en este campo se deben a la carencia de una bibliografía asequible en nuestro idioma que pueda ser consultada. No existen libros en castellano acerca de técnicas de fusión (más conocida como *fusing*), pasta de vidrio o *casting* (moldeado). Los escasos libros sobre estas técnicas están en inglés, francés, alemán o italiano, y sólo pueden conseguirse mediante encargo en centros especializados de vidrio, o acudiendo a la biblioteca del Centro Nacional del Vidrio de La Granja.

Me gustaría hacer un hueco en esta introducción para plantear algunos interrogantes que me han hecho estudiar el vidrio como material escultórico, así como algunas cuestiones controvertidas respecto a su valor en el arte. Creo necesario discutirlos brevemente antes de pasar a plantear las hipótesis de mi investigación.

¿Qué cualidades interesantes como materia puede aportar el vidrio a la escultura?

La fascinación por el material “vidrio” es común a muchos artistas de este ámbito⁶. Me interesaba investigar la obra y las ideas de artistas en vidrio contemporáneos para saber por qué elegían este material para realizar sus obras. Con este fin realicé una serie de entrevistas a artistas aprovechando la celebración de “10 años de formación en vidrio”, seminario de arte y formación que tuvo lugar entre el 18 y el 21 de octubre de 2000 en el Centro Nacional del Vidrio de La Granja. Los entrevistados fueron seis de los artistas participantes en ese encuentro, que menciono en el mismo orden en el que grabé las entrevistas: Jiri Jarkuba (tallador y escultor checo, realiza sobre todo relieves en bloques de cristal), Ana Thiel (escultora mexicana que trabaja sobre todo el vidrio en caliente, por colada), Richard Meitner (artista estadounidense, su obra

⁴ Ibidem, p. 26

⁵ LUNDSTROM, B. (1991), p. 65.

⁶ “... cuando vi soplar vidrio me enamoré a primera vista y ya desde ahí, ya no me curo porque no quiero”. Ana Thiel, entrevista 18 de octubre de 2000.

está hecha con diversas técnicas de soplado, esmaltado y talla), Miriam di Fiore (de origen argentino, reside y realiza su obra en Italia, usando sobre todo las técnicas de fusión y termoformado), Javier Pérez (artista barcelonés que utiliza el vidrio frecuentemente, como una más de las materias disponibles para el escultor), y Pedro García (escultor radicado en la provincia de Madrid, que trabaja sobre todo en vidrio, aunque incorpora otras materias, en técnicas de cortado, pulido, fusión y termoformado). Pude constatar que las personas entrevistadas elegían trabajar con vidrio debido a su transparencia, ya sea por las posibilidades de juego con la luz⁷, o por el acceso al interior de la masa que forma la escultura⁸. Otra de las cualidades preferidas del vidrio es su aspecto líquido⁹. Su interacción con otras materias, ya sea en frío o en caliente, es también una de las cuestiones que se mencionan con más frecuencia en esas entrevistas¹⁰.

¿Puede aportar algo el vidrio al arte actual?

En esta misma serie de entrevistas pregunté a los artistas qué aporta el vidrio como materia a la escultura contemporánea. Ninguno de ellos dudó al considerarlo como un material de gran valor para el arte actual, y aportaron diferentes razones:

- El vidrio puede ser trabajado y modificado de muchísimas formas y, por tanto, está abierto a múltiples “lenguajes”¹¹
- La apariencia de virtualidad y falta de materia del vidrio lo hacen muy apropiado para ciertas manifestaciones del arte actual¹².

⁷ “... es uno de los materiales que más puede ayudar para transmitir este (diálogo) materia-no materia, esta luz, para mí la luz es muy importante, actualmente tenemos mucha posibilidad con las técnicas de trabajar con la luz, y el vidrio es un buen receptor de la luz”, Javier Pérez, entrevista 21 de octubre de 2000. “... la madera la refleja, el metal refleja la luz, pero el vidrio siento que la escoge, y a la hora de volverla a emitir hacia nosotros para poderla ver, creo que la transforma.” Ana Thiel, entrevista 18 de octubre de 2000. “... me gusta la cualidad de luminosidad que tiene el vidrio soplado antes de hacerse sólido”, Richard Meitner, entrevista 18 de octubre de 2000.

⁸ “... me fascina la idea de que yo, dentro del bloque de vidrio, puedo crear un universo sin límites”, Miriam di Fiore, 19 de octubre de 2000. “... un mundo interior que es realmente lo que yo busco en el vidrio. Quizá la característica global de lo que yo busco en mi obra es que las piezas tengan siempre algo que decir desde dentro, algo que decir por dentro, una vida interior fuerte”, Pedro García, entrevista 21 de octubre de 2000. “Al vidrio a veces se le denomina una materia típica de nuestros días debido a su cualidad de transparencia, y esta posibilidad hace que a veces no veas el vidrio, cuando trabajas con él tiene una cualidad un poco misteriosa.” Jiri Jarkuba, entrevista 18 de octubre de 2000.

⁹ “... el vidrio tiene esa cualidad líquida que conserva cuando ya se ha enfriado”, Ana Thiel, entrevista 18 de octubre de 2000. “... nunca se solidifica ni se funde verdaderamente, es sólo una metamorfosis constante del mismo estado y es lo que nos pasa a nosotros viviendo”, Miriam di Fiore, entrevista 19 de octubre de 2000.

¹⁰ “... estoy vertiendo el vidrio en madera, en metales, en otros materiales y veo su relación, cómo se quema la madera, cómo se trabaja con el metal, y me encanta porque es tan inmediata...”, Ana Thiel, entrevista 18 de octubre de 2000. “... también combino el vidrio con otros materiales para completar mis ideas, como cerámica, piedra, madera”, Richard Meitner, entrevista 18 de octubre de 2000.

¹¹ “Creo que el vidrio sea el material actual de expresión, además como te decía antes, tiene un vocabulario tan amplio que permite cualquier tipo de discurso, se puede usar para cualquier tipo de lenguaje, para todo, otros materiales no, son más rígidos, más profundos, más oscuros”, Miriam di Fiore, entrevista 19 de octubre de 2000.

¿Puede considerarse “arte” una obra realizada con vidrio?

Uno de los asuntos más controvertidos en relación con el trabajo artístico del vidrio, y por tanto, con esta tesis, es si pueden considerarse “esculturas” obras que hayan sido realizadas en vidrio. El arte actual está, al menos en teoría, abierto a todo tipo de materiales; sin embargo, las obras realizadas en vidrio apenas tienen cabida en galerías, museos o ferias de arte¹³. El vidrio está poco valorado en el mercado artístico; mientras que otras materias escultóricas como piedra, madera o bronce tienen una larga tradición artística, la irrupción del vidrio en el así llamado “gran arte” es relativamente reciente. Esta perspectiva inquieta a los artistas que utilizan vidrio en sus obras; en las entrevistas que mencioné más arriba varios de los artistas quisieron sacar a colación el asunto de la falta de aceptación del vidrio como material artístico. Algunos aducían razones para esta falta de estima por parte del público en general, y de los galeristas y conservadores de museos en particular; así, se mencionó la corta historia artística de este material, el desconocimiento de la importancia artística que en determinadas épocas históricas o lugares geográficos ha tenido, la enorme cantidad de vidrio utilitario que rodea la vida diaria, que hace que percibamos esta materia como algo sin valor, o incluso que “la mayoría del vidrio que se produce no es demasiado bueno, simplemente”¹⁴. Algunos proponen distintas soluciones para dar a conocer el vidrio como material escultórico, tratando de llevarlo a galerías no especializadas en vidrio, sino en arte en general, y abriendo los talleres a artistas no especializados en vidrio, para que lo conozcan y puedan expresarse con este material¹⁵.

Hipótesis de partida: el vidrio es una materia adecuada para la escultura.

Esta tesis no pretende demostrar esta primera hipótesis; más bien la considera como un supuesto básico para plantear a partir de él toda la investigación. Si no considerase el vidrio un buen material escultórico, no habría experimentado con él, ni realizaría con él mis obras.

¹² “... las características que tiene por sí el vidrio son muy, muy, muy actuales, hay una posibilidad de virtualidad, de imagen frágil, de falta de materia, que es muy propio a la escultura contemporánea. (...), en el arte contemporáneo (...) quizá no se encuentra esta voluntad de permanencia o esta voluntad matérica que antes quizá sí había” Javier Pérez, entrevista 21 de octubre de 2000.

¹³ Por ejemplo en casi ninguna edición de ARCO hay piezas de vidrio, aunque la variedad de materiales y tipos de obras presentadas es enorme.

¹⁴ Richard Meitner, entrevista 18 de octubre de 2000.

¹⁵ “... que los artistas que somos en ese material, abramos nuestros talleres a artistas que pertenezcan a otras artes (...) y ofrecerles nuestros conocimientos, para que otros artistas que se dedican a pintar, a esculpir, etc., se comuniquen también con vidrio, artistas incluso con cierto renombre, con lo cual habremos conseguido (es un poco interesado, pero funciona así) que si otros artistas con cierto renombre utilizan el vidrio para expresarse porque tienen esa necesidad y les gusta (...) que juntos se pueda realizar un adelanto”, Pedro García, entrevista 21 de octubre de 2000.

En la fundamentación histórica de esta tesis mostraré la trayectoria de este material en el ámbito tecnológico y artístico. La adecuación del vidrio al arte es algo que queda patente, precisamente, a través de su uso para este fin a lo largo del tiempo; en el siglo XX ha irrumpido en el ámbito de la escultura demostrando que es un material tan válido como otros, con sus cualidades específicas y sus posibilidades expresivas concretas.

Hipótesis de investigación: la escultura en vidrio puede trabajarse con recursos e infraestructura limitados.

Puede hacerse una objeción a la hipótesis de partida: el vidrio no es adecuado para el trabajo escultórico porque requiere de una infraestructura y unas condiciones materiales muy complejas, que sólo son accesibles a la industria y a las grandes fábricas de vidrio. Algunas tradiciones vidrieras parecen apuntar hacia esta idea, como el desarrollo de la escultura en vidrio checa, donde los escultores trabajan generalmente al amparo de una gran industria vidriera que les proporciona asesoramiento técnico e instalaciones, o la historia personal de algunos escultores en vidrio, como Luciano Vistosi, nacido en el seno de una familia vidriera de Murano y dueño de una fábrica de vidrio artesanal... Siendo así las cosas, en un contexto como el español donde no existe apoyo al artista por parte de la industria vidriera, el vidrio debería desecharse como material artístico porque no es accesible.

Con mi tesis pretendo demostrar que sí pueden hacerse esculturas en vidrio con apenas más medios de los necesarios para trabajar cerámica (que sí está muy extendida en España) y que pueden aprovecharse muchos recursos materiales al alcance de cualquiera. Por supuesto, no todas las técnicas de trabajo en vidrio podrán realizarse con estos limitados recursos, pero sí algunas muy interesantes como las de fusión y termoformado, y las de casting y pasta de vidrio.

Una cuestión que me pareció prioritaria fue la claridad en la exposición de las diferentes aportaciones que la componen. Por esta razón, a lo largo de esta tesis he querido que los datos aportados en el texto se vieran enriquecidos con imágenes relacionadas con ellos. Esto ha implicado hacer no sólo un trabajo de investigación bibliográfica y experimental en el taller, sino también un gran esfuerzo ilustrador, realizando muchas fotografías de los procedimientos de trabajo, de los diferentes resultados experimentales y de las obras creadas con ellos. También han sido creados por mí casi todos los gráficos, esquemas y dibujos que sirven para explicar los procedimientos artísticos y los hallazgos de esta tesis.

Las distintas partes de esta tesis

He dividido el texto recogido en esta tesis en tres partes. La primera es la fundamentación. En ella comienzo por sintetizar la historia del vidrio, atendiendo especialmente a la evolución de su tecnología y a algunas de las obras artísticas y utilitarias más importantes de cada época. Otro capítulo se ocupa especialmente del uso del vidrio en el arte del siglo XX, mostrando cuáles han sido las diferentes técnicas utilizadas, y cómo las obras en vidrio se han adaptado a distintas tendencias artísticas. En esta parte he recogido sólo

una pequeña porción de la cantidad de artistas contemporáneos que trabajan o han trabajado con vidrio, para evitar hacer una mera enumeración de nombres. Forma parte de la fundamentación, por último, un capítulo dedicado a las características físico-químicas del vidrio, ya que su conocimiento es imprescindible para poder llevar a cabo cualquier experimentación posterior con vidrio, por empírica que esta sea.

La segunda parte de esta tesis consiste en una introducción a las técnicas generales de trabajo en vidrio que pueden utilizarse para hacer escultura. En esta parte he procurado incluir todas las técnicas que pueden emplearse, tanto en frío como en caliente, para dar forma al vidrio. Pretendo así ubicar en un campo más amplio las técnicas de trabajo en vidrio de las que se ocupa esta tesis.

La tercera parte está constituida por varios capítulos en los que describo un acercamiento experimental al trabajo artístico del vidrio en las técnicas de fusión, termoformado, casting y pasta de vidrio. En esta parte he pretendido mostrar de qué forma puede trabajarse el vidrio con recursos e instalaciones limitados, aunque también incluyo pruebas con materiales más específicos para el trabajo artístico del vidrio. Creo que la principal aportación que esta tesis hace al mundo de la escultura es precisamente esta parte experimental. Expongo procedimientos de trabajo y materiales experimentados por mí, explico diferentes variantes, y también indico qué problemas pueden presentarse y cómo se solucionan... Tal vez no se “inventa” nada nuevo (no hay ningún procedimiento de trabajo ni ningún material que no haya sido utilizado en alguna ocasión por algún artista o en alguna época de la historia del vidrio) pero sí se dan a conocer muchas técnicas de trabajo que no aparecen en la bibliografía consultada o que sólo se mencionan como posible campo de investigación. Ya he dicho más arriba que en el ámbito del vidrio reina una especie de secretismo que impide que se difundan los hallazgos técnicos o materiales. Esto me ha empujado a tener que “redescubrir” algunos procedimientos, sobre todo los relacionados con la paleta de colores y con las inclusiones. Considero que el capítulo dedicado al casting y la pasta de vidrio es sólo un bosquejo de lo que una investigación más profunda podría procurar; no he querido en esta tesis avanzar más allá, pues he creído que eso sería, quizá, campo de trabajo suficiente para otra tesis. Me he limitado, pues, a mostrar que es posible lo que plantea la hipótesis de investigación, es decir, que con poco más de un horno cerámico y vidrio de casco pueden crearse obras escultóricas con los procedimientos de casting y pasta de vidrio.

El capítulo de conclusiones, por último, presenta algunas obras artísticas creadas por mí durante la investigación utilizando los materiales y los procedimientos experimentados en esta tesis. Creo que son la demostración de que el vidrio es un material escultórico, y de que puede hacerse escultura en vidrio con unas instalaciones y materiales limitados.

I. FUNDAMENTACIÓN

I.1. EL VIDRIO A LO LARGO DE LA HISTORIA. Técnicas, materiales y producciones más importantes.

I.1.1. El vidrio antiguo antes de la invención del vidrio soplado

Hay tres materiales presentes en la historia del vidrio y relacionados entre sí que con frecuencia se confunden en las cartelas de los museos y en los libros de historia: el vidrio, el vidriado y la fayenza. Los tres consisten habitualmente en sílice y contienen cal y álcalis en distintas proporciones. La fayenza, en ocasiones mal llamada pasta de vidrio, tiene sólo muy pequeñas cantidades de sosa¹⁶. Consiste en cuarzo molido que se mantiene unido con una lechada ligera de cal y sosa, y se calienta hasta que esta sustancia se ha fundido lo bastante para mantener unidas las partículas de cuarzo, que no llegan a vitrificarse. Debería llamarse “materia silícea vidriada”.



Figura realizada en fayenza, también llamada pasta egipcia. Museo de Vidrio Corning.

El vidrio se presenta como material independiente, mientras el vidriado se asocia a otro material, sobre el que se deposita, como la cerámica o el metal.

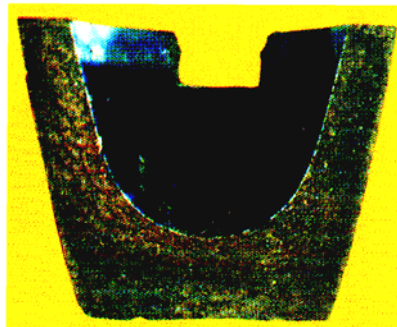
Breve recorrido histórico

Una leyenda narrada por Plinio el Viejo explica el nacimiento del vidrio. Unos comerciantes fenicios, no hallando piedras entre las que hacer fuego para preparar la comida, colocaron unos bloques de la mercancía que transportaban, nitrum (una piedra natural rica en sosa) sobre las arenas de una

¹⁶ Sólo un 2% de cal y un 0,25% de sosa, frente al 6-10% de cal y el 15-20% de sosa que poseen los vidrios y vidriados, incluidos los que se usan en pasta de vidrio contemporánea. FORBES, R.J. (1966), p. 113.

playa; la mezcla de arena y nitrum se fundió y comenzó a correr un reguero de vidrio.

Leyendas aparte, los orígenes del vidrio no están muy claros. Parece que surgió como subproducto de otra manufactura, aunque los expertos parecen no ponerse de acuerdo respecto a si fue la cerámica o la metalurgia. Algunos autores creen probado que el vidrio surgió del vidriado, que ya en el IV milenio a.C. se usaba extensamente en Egipto y Mesopotamia¹⁷. Sin embargo otros opinan que el hecho de que el auge del vidrio coincida en el tiempo con el de la metalurgia apoya la hipótesis de este origen¹⁸. Un investigador más reciente¹⁹ aporta descubrimientos relevantes acerca de la relación entre el vidrio y la metalurgia, al observar que al fundir en un crisol ciertos minerales de plata nativa, aparece sobre la superficie del metal una gran cantidad de escoria vítrea color azul cobalto. En excavaciones en Egipto y Mesopotamia se han hallado vidrios azul cobalto justo en los mismos niveles donde se ha hallado plata (al parecer ambos eran importados de otras zonas). Apoyan esta idea los hallazgos arqueológicos del *pecio* Ulu Burun, un barco hundido frente a las costas de Turquía, posiblemente fenicio del s. XV a.C. En él se transportaban junto a diversas mercancías 20 lingotes circulares de vidrio azul cobalto, cuya forma ligeramente troncocónica es precisamente igual a la que tendría una escoria vítrea en la parte superior de un crisol de la época.



Imágenes del experimento realizado por DAYTON (1993) replicando las condiciones de fundición de la edad del bronce, con mineral de plata nativa. Sobre el mineral se deposita una capa de escoria vítrea azul cobalto, con la misma forma que los discos encontrados en el Ulu Burun.

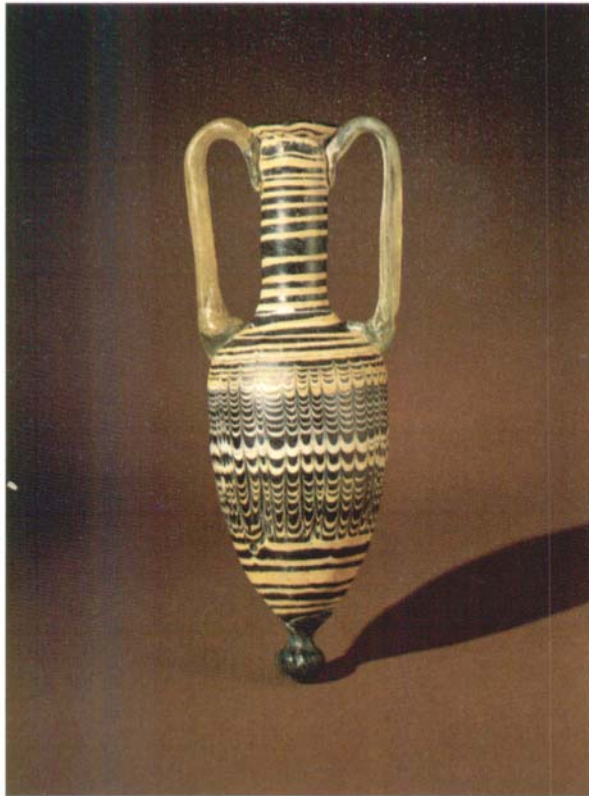
Se han hallado cuentas de vidrio y bloques de vidrio fundido de excelente calidad en Mesopotamia procedentes del tercer milenio a.C., lo que indica que la vidriería tenía allí una mayor antigüedad que en otras zonas. Testimonio del desarrollo de la vidriería son las tablillas de arcilla escritas en cuneiforme con recetas de vidrios de colores (s. XVIII a.C.) y con indicaciones sobre la construcción de los hornos para vidrio (s. VII a.C.).

¹⁷ HARDEN, D.B. (1979), p. 316., FORBES, R.J. (1966), p. 115.

¹⁸ VIGIL PASCUAL (1969), p. 31.

¹⁹ DAYTON, J. E. (1993).

Los restos arqueológicos de vidrio más importantes y conocidos del segundo milenio a.C. son los egipcios. Sin embargo, es muy posible que la técnica del trabajo de vidrio surgiese primero en Siria y después se trasladase a Egipto. No se han hallado restos importantes de vidrio en Egipto hasta el 1500 a.C., durante la XVIII dinastía, época en la que Tutmés III invadió Siria; una de las costumbres de los pueblos invasores era llevarse cautivos a los artistas y artesanos más afamados, y tal vez así llegaron a Egipto los primeros vidrieros²⁰.



Anforiscos de fabricación egipcia, perteneciente al segundo florecimiento de la industria vidriera en Egipto. Decorado con hilos de vidrio peinados con un efecto de onda. Museo Corning de vidrio.

268 *Amphoriskos*

Las primeras manufacturas importantes de vidrio florecieron en Egipto desde el 1500 a.C. y desde allí fueron exportadas a muchos lugares de la cuenca mediterránea y Asia. A finales del segundo milenio a.C. parece haber un cese de la producción de vidrio, sobre todo de vasijas de núcleo de arena; hacia el 1200 a.C. la invasión de Egipto por parte de Libia hizo que la situación interna del país decayese y no permitiese esta industria de objetos de lujo²¹. La fabricación de estos esencieros vuelve a renacer a mediados del primer milenio a.C., asentándose sobre todo en la ciudad de Alejandría. En Alejandría (fundada en 332 a.C.) floreció el vidrio egipcio por primera vez desde el s. XI a.C. Sus productos llegaron a Grecia e Italia en el s. I, junto con las nuevas técnicas (millefiori).

En otras zonas, como Grecia, parece que hubo pequeñas industrias de vidrio locales, sobre todo en época micénica (fabricación de amuletos, sellos y joyas), pero también desaparecen los vestigios a finales del segundo milenio a.C.

²⁰ FERNÁNDEZ NAVARRO (1991), p. 7.

²¹ FRANK, S. (1982)

Se conoce poco el vidrio de las zonas de Palestina y Fenicia antes de la época helenística. No se sabe cómo comenzó la industria de vidrio fenicia ni qué influencias recibió, aunque es cierto que a partir de la época helenística se convierte en una de las industrias vidrieras más importantes, y el vidrio de Sidón pronto rivaliza con el de Alejandría y otras ciudades egipcias. Desde sus costas hasta las del actual Líbano, los fenicios comerciaron por el mar y esparcieron sus productos (vidrio entre otros) por todo el mundo antiguo. Otros centros vidrieros florecieron en Chipre, Roda, Península Itálica: en el s. V tanto su industria como sus productos se esparcieron desde la zona de Venecia hasta la Austria actual.



ARTE PÚNICO. OLBIA, necrópolis de Fontana Noa.
Diversos elementos de collar. Siglos IV-III a. C. Pasta vítrea.
Altura media de las cabezas: 7cm. Cagliari, Museo
Archeologico Nazionale.

Respecto al vidrio en otras zonas de la cuenca mediterránea y europa, los hallazgos arqueológicos de vidrio están bastante repartidos; se cree que los pertenecientes a los años 1500 a.C. son importaciones egipcias (por ejemplo, el jarro de la Aliseda, en el Museo Arqueológico Nacional, es el objeto de vidrio más antiguo hallado en España; tiene inscripciones jeroglíficas egipcias que apuntan este origen). Sin embargo, algunos estudios recientes sobre vidrio europeo prerromano indican que pudieron existir manufacturas locales de cuentas de vidrio, brazaletes y amuletos, ya que tanto la tipología de los hallazgos como los análisis de sus componentes son diferentes a los de los vidrios egipcios y mesopotámicos. Ampurias e Ibiza parecen ser centros locales de comercio y difusión²².

²² FEUGERE, M. (1989): "Les vases en verre sur noyau d'argile en Méditerranée nord-occidentale", p. 29 y sgtes.

Un artefacto relacionado con el vidrio que ofrece muchos interrogantes son los fuertes vitrificados: un grupo de fortificaciones prehistóricas que fueron probablemente construidas durante la Edad del Hierro temprana, situados en lo alto de colinas en Alemania, Francia y Gran Bretaña, especialmente en las tierras altas escocesas. Sobre ellos hay muchas teorías opuestas. Las paredes que quedan de los fuertes están compuestas de guijarros fundidos juntos en por una matriz vidriosa y viscosa, que ha fluido alrededor de las rocas constituyentes, convirtiendo el conjunto en masas de varios metros cúbicos de volumen. Algunas rocas muestran signos de fundición interna, con algunos granos de mineral rodeando una masa vidriosa fluyente. Por tanto, debió aplicarse un calor considerable durante un largo período de tiempo. Hay que preguntarse, en primer lugar, si esta aplicación era constructiva o destructiva, y en segundo lugar, qué técnicas en amplio sentido, se usaron para fundir estas piedras²³.

Parece haber evidencias respecto a la producción local de vidrio durante la edad del hierro en Gran Bretaña (s. V a.C.), ya que se han hallado concentraciones de desechos procedentes de pequeñas manufacturas de vidrio (escorias, piezas defectuosas, crisoles) y la composición de esos vidrios es característica de esa área²⁴.

En lejano oriente el vidrio no es tan conocido. Durante muchos años se supuso que durante los primeros siglos de nuestra era se comerció con China a través de la ruta de la seda y que así llegaron hasta allí cuentas de vidrio que despertaron manufacturas locales durante el s. V. Sin embargo, se ha hallado vidrio en tumbas prehistóricas en Japón, y en tumbas antiguas de Corea, así como discos de vidrio y otras formas típicas chinas que demuestran que el vidrio era más común en la antigua China de lo que se pensaba. El vidrio chino antiguo tiene una composición de plomo-bario-silicato, con unas cualidades ópticas excepcionales, que en europa no se usó hasta que en el s. XIX lo fabricó Schott para hacer instrumental científico²⁵.

Tecnología del vidrio antiguo.

Las evidencias históricas y arqueológicas que permiten averiguar cómo era la tecnología del vidrio antiguo son varias. En primer lugar, los hallazgos arqueológicos, tanto objetos de vidrio como herramientas y materiales utilizados para su fabricación; en segundo lugar, los escasos textos relacionados con el vidrio y su fabricación que han llegado hasta nosotros.

Uno de los hallazgos arqueológicos más importantes relacionados con el vidrio es la vidriería de Tell-el Amarna, orilla este del Nilo; su excavación fue dirigida por Flinders Petrie en 1891. La ciudad era la nueva capital fundada por Akenatón en el s. XIV a.C., lugar de gran esplendor y centro de artesanía. Se hallaron bastantes vasijas rotas, puntiles de bronce y unos pocos crisoles.

²³ FRANK, S. (1982)

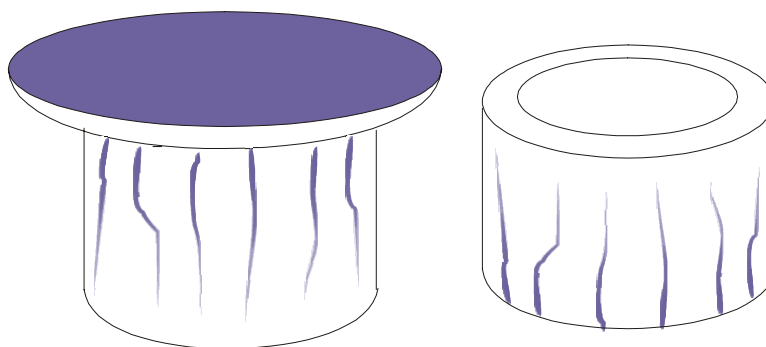
²⁴ HENDERSON, J. (1989), p. 63 y sgtes.

²⁵ FORBES, R.J. (1966)

Flinders Petrie distinguió tres tipos de cacharros usados como crisol; el primero era un plato ancho poco profundo, de 23 cm de diámetro y 7 de fondo, en el que se hacía la frita del material. Este proceso era común en el pasado, y suponía calentar la materia prima antes de fundirla para eliminar gases y quemar impurezas, en un tiempo en el que no existían hornos de alta temperatura. Los platos hallados contenían una masa de frita a medio hacer. Se cree que el proceso de frita se hacía colocando el plato sobre un hoyo con carbón encendido, directamente en el suelo.

El segundo tipo de recipiente era cilíndrico, de 16 cm de diámetro y 11 de fondo. El tercero era un pote más pequeño con el que Flinders consideraba que se transformaba la frita en vidrio, por el tamaño y la forma de algunos fragmentos de vidrio hallados por allí, que podrían haberse enfriado dentro de esos crisoles.

TURNER (1954)²⁶ hizo diversos análisis de los potes cilíndricos (cuya función se desconoce, pero que podían haber servido para soportar los platos de frita, a juzgar por las gotas de vidrio halladas en sus paredes, que van de abajo a arriba (ver esquema dibujado) y por el tipo de vidrio de estas gotas, y dedujo que no podrían haber sobrepasado los 1100°C; con materias primas siguiendo los componentes de los vidrios analizados “replicó” el vidrio egipcio y en un crisol semejante a los hallados trató de fundirlo. Tardó 12 horas en fundir una pequeña parte, pero logró hacerlo a una temperatura de 1100°C.



Los componentes del vidrio en bruto, se fundían en un crisol de arcilla y se les dejaba enfriar. Tras romper el crisol para extraer la materia vítrea, las partes defectuosas se desconchaban y se desechaban con las escorias. Los terrones de esa masa vítrea, eran entonces fundidos de nuevo.

Los textos más antiguos sobre vidrio que han llegado hasta nuestros días son las ya mencionadas tablillas de Tell'Umar (cerca del Tigris), conservadas en el British Museum. Es un texto de 43 líneas que da recetas para fabricar vidrio

²⁶ TURNER (1954): *Studies on Ancient Glass and Glass-Making Processes*. Transactions of the Society of Glass Technology nº 38, pags. 436-444, citado por FRANK, S. (1982)

“santu” (rojo) de plomo y vidrio “santu” acadio²⁷. Es un texto escrito de un modo críptico, para ocultar las recetas a los posibles competidores.

Un conjunto de recetas más elaboradas del s. VII a.C. se incluyen en la biblioteca del rey Assurbanipal (668-626). La traducción de estas tablillas asombró a los historiadores de la química y se estableció una disputa entre quienes les otorgaban un valor técnico y quienes las consideraban “alquimia”, ya que tienen una extraña mezcla de ritual, magia y química práctica. También están llenas de criptogramas, y lenguajes secretos. Tratan sobre la construcción de los hornos, la fabricación de vidrio zuku (base transparente a la que se añade color), y de diversos tipos de fritas y vidrios de color. De este texto podemos deducir que hay tres tipos de horno en el taller:

- Un horno para hacer la primera frita de la mezcla, literalmente “horno para el cacharro de metal”
- Un horno “con suelo de ojos”, el horno para fundir. El ojo es el orificio que une el espacio para fundir con la zona donde está quemándose el combustible. Podía alcanzar entre 1000° C y 1100° C
- Un horno “de arco”, espacio para introducir y recocer los artículos terminados.

La duración de la fundición era muy larga, incluso de una semana.



Tablilla cuneiforme en la que se contienen las fórmulas para el vidrio rojo; siglo XVIII a.C., procedente de la zona del Tigris. Museo Británico.

Hay algunas referencias imprecisas a la fabricación del vidrio en la tradición clásica greco latina. Teofrasto, Plinio y Tácito mencionan en sus escritos al río Belus (sur de Fenicia) como el lugar del que procedían las arenas vitrificables

²⁷ FORBES, R.J. (1966), y VIGIL PASCUAL, M. (1966)

que se utilizaban para hacer vidrio, aunque mezclan los datos reales con fantasías legendarias respecto al origen y cualidades de esas arenas.

Materiales usados en el vidrio antiguo. Composiciones de los vidrios antiguos

El vidrio antiguo es sodocálcico, es decir, una mezcla de sílice, calcio y sodio. Tenía mucho álcali (generalmente sosa) y varios porcentajes de impurezas debidas a los ingredientes naturales usados. El alto porcentaje de álcali reduce su punto de fusión hasta los 725°C aproximadamente, pero es necesario alcanzar una temperatura más alta para fundir adecuadamente las materias primas entre sí. No era posible alcanzar estas temperaturas en una sola fusión, por lo que se recurría a varias como se describió más arriba al hablar de los crisoles hallados en las excavaciones.

Las características de este vidrio permitían una fácil fusión a una temperatura razonable, y podían ser trabajados sin riesgo de desvitrificación; sin embargo, no eran demasiado resistentes a las condiciones extremas de humedad, y por eso muchos han llegado deteriorados hasta nosotros.

La sílice de estos vidrios provenía de arenas seleccionadas, con pocas impurezas, como las procedentes del río Belus, y de guijarros de cuarzo triturados. La sosa, álcali utilizado como fundente, se conseguía a partir de minerales naturales (nitrum), mientras que la cal, estabilizante, era generalmente añadida como piedras calizas trituradas y más rara vez como “cal de mar” (conchas trituradas)²⁸.

Para conseguir colores se añadían diferentes materias que contenían proporciones de óxidos metálicos.

Técnicas para la creación de objetos de vidrio hasta la invención del soplado

El primer uso que se dio al vidrio fue la imitación de piedras preciosas²⁹, a las que llegó a superar en valor. Generalmente era un vidrio opaco y de color intenso.



Matriz de piedra (esteatita) utilizada para fabricar cuentas. Proviene de Micenas, Acrópolis, s. XV-XIII a.C.

Tiene seis caras con matrices en todos sus lados para la fabricación de cuentas de pasta vítrea, con formas variadas. Este tipo de matrices se usaban sobre todo en Cnosos y en Micenas³⁰.

²⁸ FORBES, R.J. (1966) p. 115, y HARDEN, D.B. (1979), 312-321.

²⁹ Las palabras egipcias para designar piedras preciosas, abalorios y vidrio estaban emparentadas entre sí. FORBES, R.J. (1966), p. 120.

³⁰ VV.AA. (1992): *El mundo micénico*, p. 274.

Otro uso importante fue la fabricación de amuletos y objetos de lujo y joyería; generalmente se utilizaba como pastas opacas fuertemente coloreadas. El vidrio transparente no se empleaba por dos razones: las limitaciones de la tecnología de la época impedían conseguir un vidrio de calidad (sin burbujas ni impurezas), y lo que se deseaba era imitar los colores de las piedras preciosas.



Amuletos egipcios de pasta de vidrio, distintas épocas, Museo Corning de Vidrio.

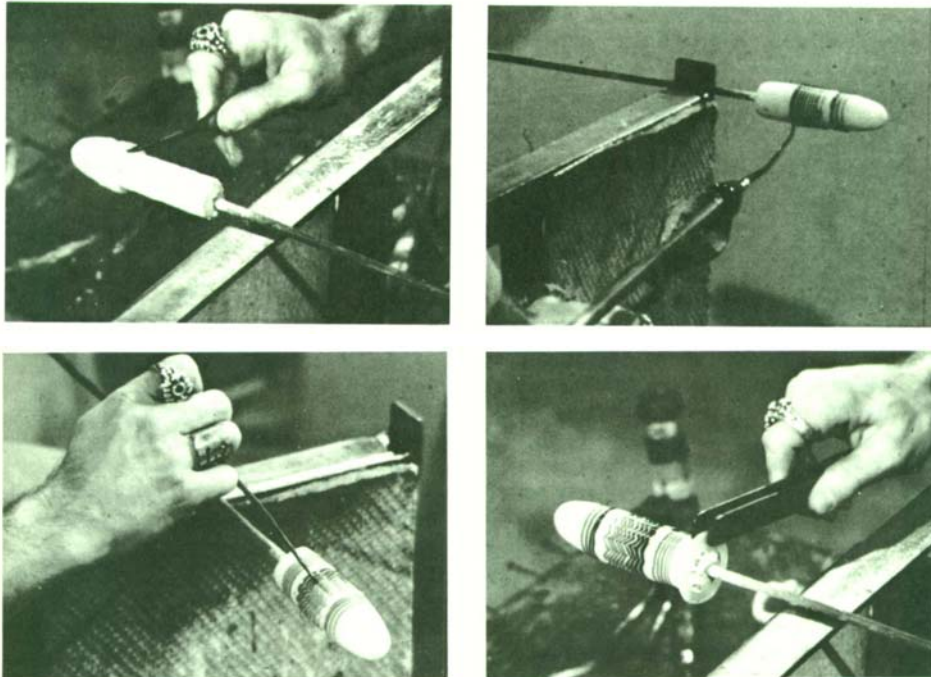
Pendiente del pato azul. Tumba de Tutankamon. Pendiente de oro tabicado, con incrustaciones de piedras finas y pasta de vidrio fundido. La cabeza del pájaro es de vidrio transparente.



Uno de los objetos más característicos de la industria vidriera a partir del 1500 a.C. son las vasijas con núcleo de arena. Se fabricaban poniendo sobre un puntil³¹ ligeramente cónico un pegote de arena envuelto en venda de lino húmeda. Alrededor de este corazón se iba enrollando un hilo de vidrio fundido, generalmente oscuro (azul cobalto o pardo), hasta cubrir completamente este corazón. Periódicamente se recalentaba todo el conjunto para conseguir que el vidrio se mantuviera fluido, y que unos vidrios pudieran fundirse con otros para formar unas paredes sólidas alrededor del núcleo de arena. Una vez conseguido esto, se ponían hilos de vidrio caliente de colores variados, que, también en caliente, se peinaban con un gancho metálico. Todo el conjunto se

³¹ Herramienta usada en vidriería consistente en una barra metálica; se emplea para sostener las piezas de vidrio mientras se realizan.

mableaba para alisar las paredes. Por último, se añadían la boca, las asas y el pie. Las piezas se introducían en un horno donde se enfriaban lentamente, y una vez frías podían separarse del puntil (tiene un coeficiente de dilatación mayor que el vidrio, por tanto encoge más al enfriarse y su forma ligeramente cónica permite extraer la vasija de vidrio) y vaciar la arena que contenían.



Algunos pasos en la realización de una vasija con núcleo de arena. Imágenes tomadas del libro GOLDSTEIN, S.M. (1979): *Pre-Roman and Early Roman Glass in the Corning Museum of Glass*.

Este procedimiento es trabajoso y largo; las vasijas no solían exceder los 10 cm. de altura. Se consideraban objetos de lujo, y se empleaban sobre todo para contener perfumes.

Cuando se inventó el vidrio soplado, se abandonó la técnica del núcleo de arena.



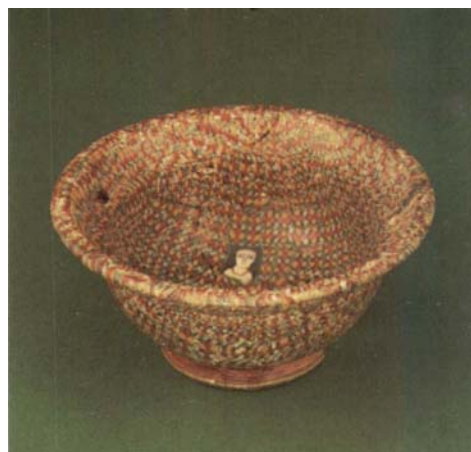
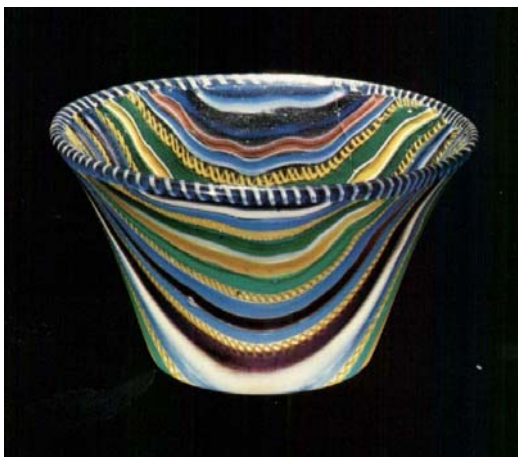
Vaso en forma de pez, procedente de Tell-el Amarna. Dinastía XVIII, hacia el 1350 a.C. Trabajo complejo, porque además del diseño de las escamas, tiene boca, aletas y ojos poco habituales en esta época. El núcleo de arena debió modelarse en forma de pez. Museo Británico.

Vasija en forma de racimo, s. XIV-XIII a.C. En la panza de esta vasija han sido aplicadas cortas barritas de vidrio caliente que, fundiéndose parcialmente, han tomado el aspecto de uvas. Museo del Louvre.



EL procedimiento de trabajo con hilos de vidrio es el antecesor de la técnica actual de candilón o soplete, y continúa empleándose en la fabricación de cuentas de vidrio y de piezas de bisutería.

El trabajo con vidrio que más tarde en la historia se llamó millefiori era frecuente entre los egipcios cerca del siglo I a.C. Desde allí se extendió a otras vidrierías del mundo antiguo. Consiste en poner unas junto a otras, formando un diseño, varias barras de vidrio de distintos colores, que se unen por medio del calor hasta formar una barra más gruesa; esta barra puede cortarse en discos que mantienen ese diseño, y que puestos unos junto a otros en un molde, e introducidos en el horno, se adhieren unos a otros.



Derecha: cuenco hallado en Italia, de fines del s. I a.C. Izquierda, vaso sirio o palestino de fines del s. I a.C. Museo Corning de Vidrio.

Esta técnica no sólo se empleó para hacer vasijas, sino también objetos decorativos para las ropas, muebles, paredes... Es la antecesora de las técnicas de millefiori utilizadas por la vidriería veneciana, y de las técnicas de *fusing* actuales.



Diversos fragmentos de mosaicos creados con la técnica de millefiori. Egipto, siglo I a.C. Museo Corning de Vidrio.



Pieza decorativa de pared, creada con la técnica de mosaico. Egipto, siglo I a.C. Museo Corning de Vidrio.

Algunas piezas se realizaban mediante la técnica de vertido o prensado en caliente en un molde y tallado posterior. El vidrio caliente se introducía dentro de un molde de piedra o cerámica; la pieza así creada era maciza, pero más tarde se tallaba y pulía utilizando las mismas técnicas que se empleaban para la talla de piedras duras o cristal de roca. Esta técnica era muy apreciada y algunos talleres, sobre todo griegos y sirios, estaban especializados en este tipo de productos. Una de las obras más conocidas de esta clase es el vaso de Sargón I (Museo Británico).



Vaso tallado procedente de Siria, 750-600 a.C. Es un vidrio amarillo verdoso con muchas burbujas. Está moldeado, tallado y pulido. Se relaciona en cuanto a técnica y forma con el vaso de Sargón I del Museo Británico. El estilo recuerda a las tallas en cristal de roca de Oriente Próximo. No parece estar tallado en torno, como otras piezas de esta época, sino con la técnica de la talla de piedra. El eje está desplazado y no es totalmente circular. El estilo y grosor es semejante al de algunas vasijas de piedra egipcias³².

Parece que los procedimientos de trabajo con cera perdida, conocidos en la fundición de bronce, también se emplearon en la creación de objetos de vidrio³³. En este tipo de trabajos podemos ver el origen de técnicas como la pasta de vidrio contemporánea. “El vidrio pulverizado podría haber sido añadido continuamente dentro del molde a fin de llenar el interior. Después de recocer³⁴, la vasija era acabada, seguramente por esmerilado o pulido al fuego”³⁵.

I.1.2. La invención del vidrio soplado

Hacia el s. I a.C. se produjo en Sidón la invención de la caña para soplar vidrio, que supuso “la primera innovación verdaderamente revolucionaria por sus métodos de elaboración”³⁶.

Se creía que el vidrio soplado se había descubierto en la década inmediatamente anterior a la era cristiana, hasta que en una excavación en Jerusalén se halló un depósito con cristales soplados y moldeados. Esto incluía grandes cantidades de restos de un taller productor de vidrio soplado, de entre el 40 y el 50 a.C. Estos hallazgos indican que el vidrio soplado procedía del Mediterráneo oriental, o de las costas Sirio-Fenicias, varias décadas antes de lo que se sospechaba³⁷. Los vidrieros usaban una barra hueca en cuyo

³² GOLDSTEIN, S.M. (1979), p. 196.

³³ FRANK, S. (1982)

³⁴ Para más información sobre el proceso de recocido, véase p. 91.

³⁵ ORTIZ PALOMAR, E. (2001), p.41

³⁶ FERNÁNDEZ NAVARRO (1991), p. 13.

³⁷ La industria vidriera de la zona de Palestina era muy sofisticada. FRANK, S. (1982), narra el hallazgo en Beth She'arim, en el sudoeste de Galilea, una región productora de vidrio durante

extremo recogía una cantidad suficiente de vidrio para hacer el objeto. Entonces soplaban para hacer una burbuja. Podían soplar libremente (el vidrio se endurecía al enfriarse), o en moldes para hacer formas complejas. También podían añadirse otros elementos de vidrio a la vasija soplada, como asas, pie, boca, etc.

En comparación con las limitaciones del núcleo de arena, estas vasijas podían ser usadas para más aplicaciones, y el proceso era más rápido y más barato. Por ejemplo, con las vasijas de núcleo de arena era necesario que la boca fuera estrecha, adaptándose al grosor del puntil empleado para sujetar la vasija, mientras que las de vidrio soplado podían tener formas más variadas; el tamaño necesariamente pequeño de las vasijas de núcleo de arena podía ser cada vez mayor con las de vidrio soplado; la producción era mucho más rápida...

Las piezas fabricadas por los vidrieros de Sidón durante esta época llevaban impresa la marca y firma de su autor: Ariston, Artas y Ennion eran los más afamados.



Jarra soplada en molde hexagonal.
Palestina, s. III.

A mediados del siglo I a.C. el imperio romano dominó Egipto y Siria, y se creó la gran unidad política del imperio romano. Comenzaron a llegar a la ciudad de Roma artesanos vidrieros orientales procedentes de centros de Alejandría y

el período romano, y probablemente también antes y después de este período, de un gran bloque, demasiado pesado para ser extraído. Se demostró que el bloque era de vidrio y se había producido intencionadamente, no era un material geológico natural. La composición es similar a la del vidrio que se hacía en la región en época romana. La excavación halló en la base del bloque diversas piedras calizas bien ajustadas, formando un contenedor (seguramente hubo también piedras en las paredes).

El tamaño de este primitivo contenedor de vidrio es asombroso: 3,4 m x 1,95 m x 0,5 m, con un peso de 8,8 toneladas. El proceso habitual de fundición en esa época consistía en usar pequeños crisoles y cacharros, y no se usaron grandes tanques rectangulares hasta el s. XX. Este horno sería, por tanto, un antecesor de los hornos-tanque modernos.

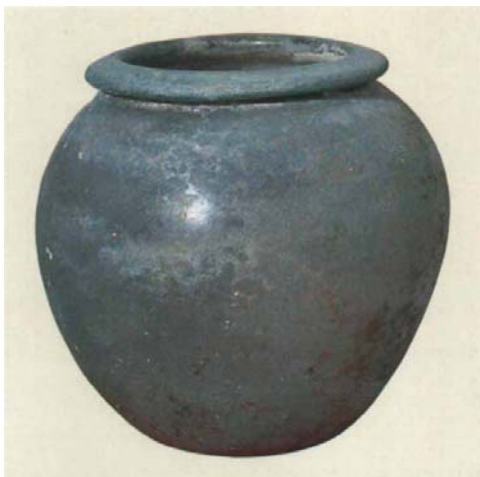
Sidón³⁸. Se cree que el mismo Ennion se estableció en Roma³⁹. Con la hegemonía romana en el Mediterráneo, hubo cierta estabilidad y prosperidad. Los centros vidrieros helenísticos cayeron bajo control romano durante el s. I a.C., y las provincias recién conquistadas al norte y este de Europa eran un buen mercado.

La velocidad de adopción de la nueva técnica fue muy rápida. Las excavaciones arqueológicas demuestran que las vasijas sopladas aparecieron por primera vez en Italia durante el último cuarto de la I centuria a.C. La artesanía vidriera a partir de ese momento logró en Roma una expansión que no había tenido en ningún otro lugar⁴⁰. No sólo los hallazgos arqueológicos lo demuestran así, sino también numerosas fuentes documentales e iconográficas⁴¹. Bajo Augusto, Roma se consideró el principal centro vidriero⁴². El vidrio se hizo utilitario y barato, un artículo de consumo al alcance de un amplio rango de la población. Tal fue la expansión que incluso en el año 220 se obligó a los vidrieros a instalarse en los suburbios como medida de seguridad contra incendios, debido al exceso de hornos y polución.

Desde la introducción del vidrio soplado en Roma, se empleó sobre todo vidrio incoloro, transparente, más adecuado para recipientes. Era un vidrio de mejor calidad que el que habían logrado sus antecesores, en parte debido a la adición de decolorantes como el dióxido de manganeso.

Diversas técnicas de trabajo romanas

Mediante la técnica de soplado se realizaron sobre todo vasijas de muchos tipos: copas (de formas variadas, que recibían también distintos nombres: “calix”, “patera”...), botellas de formas cilíndricas, cónicas o prismáticas, con o sin asa; cuencos lisos o decorados con resaltes verticales en relieve; pequeños ungüentarios de paredes finísimas, o incluso urnas cinerarias de diversas formas⁴³.



Urna cineraria de vidrio encontrada en la necrópolis de Segóbriga (Cuenca). Hacia el s. I.

³⁸ FERNÁNDEZ NAVARRO (1991) p. 14.

³⁹ FORBES (1969).

⁴⁰ FERNÁNDEZ NAVARRO (1991) p. 14

⁴¹ ORTIZ PALOMAR (2001), aporta numerosos frescos y mosaicos romanos en los que se representan vasos y copas de vidrio transparente como ajuar doméstico habitual.

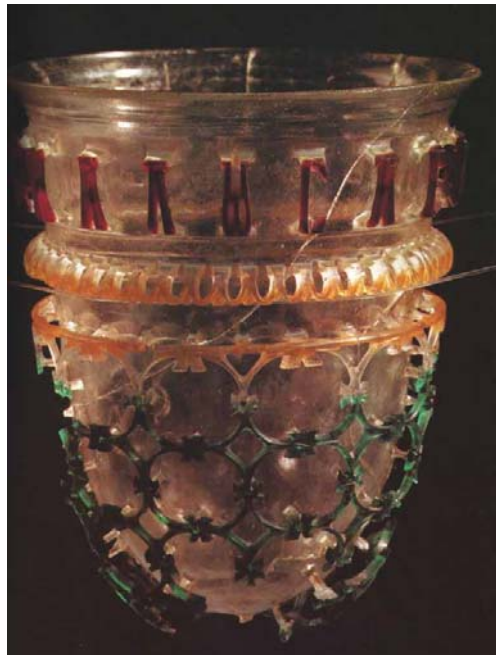
⁴² FRANK, S. (1982)

⁴³ FERNÁNDEZ NAVARRO (1991) p. 16.

Los vidrieros romanos no sólo hicieron vasijas: el vidrio para ventanas fue también muy extendido en este período. Pompeya, una ciudad conocida por su lujoso estilo de vida, usaba ventanas con grandes hojas de vidrio. Las ventanas de las termas de Pompeya, por ejemplo, eran de un vidrio fino que medía aproximadamente 100 x 70 cm. Muchos vidrios romanos para ventanas eran de color verde azulado. Las piezas pequeñas se incluían en un marco de madera más o menos ornamentado, dividido en varias secciones. Probablemente se moldeaban en bloques, colando o presionando el vidrio caliente en moldes abiertos de arcilla⁴⁴, o tal vez se vertía sobre piedras lisas o sobre superficies metálicas o de madera humedecida⁴⁵. Este procedimiento para hacer vidrios de ventana no volvería a emplearse hasta mediados del s. XVIII en Francia.

Los vidrieros romanos se dividían en dos clases de trabajadores: los “vitrearii” (especializados en vidrio soplado y moldeado) y los “diatretarii”, que se dedicaban al tallado y pulido.

Algunas de las piezas más valiosas del vidrio romano se deben al tallado y pulido, como las copas llamadas “diatetra”, procedentes en su mayoría de las vidrierías asentadas en la región alemana del Rin. Son vasos en forma de campana, generalmente con varios colores de vidrio superpuestos, en los que los talladores creaban una filigrana de vidrio, un encaje unido a la copa y de su misma materia.



Vaso diatetra hallado en las proximidades de Colonia. Museo Romano Germano de Colonia.

Los vidrios camafeo fueron también un ejemplo de la maestría de los talladores romanos. Para crearlos, primero un soplador hacía un vaso usando como base un vidrio generalmente azul cobalto opaco, muy oscuro, que recubría con un baño de vidrio blanco opal. El tallador creaba un relieve sobre el vidrio blanco,

⁴⁴ FRANK, S. (1982)

⁴⁵ FERNÁNDEZ NAVARRO (1991) p. 16.

que se iba eliminando hasta llegar al vidrio azul, creando diferentes efectos traslúcidos de sombreado.



La obra más famosa del vidrio camafeo es el vaso de Portland, hallado en Roma, que se supone encerraba las cenizas del emperador Alejandro Severo (s. III). Actualmente se conserva en el Museo Británico.

Los artistas vidrieros romanos también conocían la pintura sobre vidrio con colores vitrificables, traída quizá por artesanos alejandrinos⁴⁶, y la ornamentación con panes de oro entre dos capas de vidrio, que se ha llamado *sándwich* de oro o fondo de oro.



Fragmento de la base de una vasija creada con la técnica del fondo de oro. Sobre un vidrio oscuro, cobalto, se adhiere con resina una lámina de pan de oro; se calienta y se baña con otro vidrio transparente, caliente. El oro queda así encerrado entre dos láminas de vidrio.

Esta técnica es la antecesora de muchas de las inclusiones con panes metálicos descritas en la parte experimental de esta tesis.

Segóbriga, s. III.

⁴⁶ FERNÁNDEZ NAVARRO (1991), p. 19.

Expansión y fases de la artesanía del vidrio en el imperio romano.

La vidriería no se restringía a Italia y el Mediterráneo oriental. Las regiones del norte del Imperio Romano tenían sus propias vidrierías. Los artesanos vidrieros, muchos de ellos de origen sirio, fueron estableciendo talleres al sur de las Galias, en Germania, y en la Península Ibérica. Eran famosas las fábricas de Colonia y Trier. Había continuos movimientos de trabajadores en el interior del imperio romano por lo que es difícil decir dónde se hizo una pieza concreta.

Tras la escisión del imperio romano en el año 395, las dos partes en las que quedó dividido el imperio tuvieron diferencias culturales y artísticas cada vez más marcadas. En los vidrieros bizantinos, las técnicas decorativas con motivos cristianos tuvieron preferencia. Crearon los mosaicos, donde pequeñas piezas cúbicas de vidrio (*téseras* o *teselas*) se combinaban con fragmentos de mármol y nácar para crear imágenes.

Los dos primeros siglos de nuestra era pueden considerarse el período de formación en la artesanía del vidrio romana, caracterizada por un vidrio con una tonalidad verde intensa; desde el siglo III se depuran las técnicas y la calidad del vidrio, y se llega al máximo perfeccionamiento. Con el final del s. IV comienza la decadencia de la artesanía vidriera, que se hace patente por vidrios de escasa calidad y formas repetitivas poco decoradas.

I.1.3. La vidriería tras decaer el imperio romano

La existencia de centros vidrieros ampliamente dispersos ayudó a la industria vidriera a sobrevivir cuando el imperio romano empezó a declinar. En Europa, la industria continuó en los valles del Rin y del Rona, aunque muchos trabajadores fueron a Italia (valle del Po y del Adige). También sobrevivió en los valles del Sena y en la Normandía, desde donde pasó a Inglaterra.

La edad media es un período oscuro para el vidrio. Apenas se encuentra vidrio hueco en las excavaciones hasta el s. X, excepto en algunos lugares de Escandinavia, Inglaterra y los Países Bajos⁴⁷.

Aunque la industria vidriera en conjunto sobrevivió, declinó el arte de hacer vasijas. Los nuevos gustos “teutones” pedían vasijas más simples en su forma, y muchas técnicas romanas complejas se perdieron. Como contraste, hay que anotar que en el este la industria continuó floreciendo tras la conquista islámica, y se desarrolló el arte de pintar, esmaltar, dorar. Este arte continuó después del dominio Mongol. Muchos vidrieros de Damasco y Alepo vinieron al oeste, donde tuvieron una gran influencia en el diseño del vidrio.

Los ingredientes usados por los vidrieros occidentales de esa época fueron los mismos que usaban los romanos: arena con conchas (sílice y cal), mientras que el álcali usado como fundente se obtenía de cenizas de plantas y algas de las costas mediterráneas. Hacia el s. X se extendió rápidamente en el área

⁴⁷ DRAHOTOVÁ, O. (1990), p. 27.

Desde finales del s. XII y sobre todo en el XIII se empieza a desarrollar progresivamente el vidrio en Europa. Ya desde el s. XI las Cruzadas sacaron a Europa de su aislamiento, y se observa que las relaciones culturales y comerciales entre oriente y occidente se intensifican. Los frascos empiezan a adquirir formas de inspiración oriental. Se importan de Siria vidrios pintados con esmalte, llamados en su época *Vidrios al estilo de Damasco*; este vidrio tuvo gran influencia en el desarrollo posterior del vidrio esmaltado de Venecia. De Corinto también se percibe influencia en cuanto a las técnicas (vasos con decoraciones en la masa de vidrio) y a las formas⁵².

En España, los visigodos continúan con la artesanía del vidrio romana en la Península, aunque hay un fuerte descenso en la producción. Se centra sobre todo en la producción de vidrios coloreados imitando piedras preciosas. En la España musulmana hay también pocos vestigios de producción vidriera, aunque a partir del siglo XIII se asienta en Almería el principal centro de fabricación hispanoárabe, que hace vidrios utilitarios de color verde, gruesos, con muchas asas y de estilo oriental.

El patronazgo de la iglesia

La producción de vidrio para ventanas en occidente no pareció sufrir lo mismo que la de vasijas después de la caída del Imperio Romano, y en buena parte se debió al apoyo de la Iglesia, que actuó como preservadora del vidrio y sus métodos de trabajo, gracias al cuidado de manuscritos y a la producción de nuevos escritos. Además fue un patrón rico, al necesitar vidrios para las ventanas de las iglesias en gran cantidad. Han quedado registrados diversos escritos en los que se mencionan encargos de vasijas y vidrieras para nuevos monasterios desde el s. VII en adelante. Además se hallan con frecuencia restos de vidrio en esos lugares.

A finales del s. X la situación en Europa era mejor y los edificios eclesiásticos empezaron a florecer. Sin embargo, las técnicas constructivas no permitían hacer ventanas grandes. En el s. XII. la introducción del gótico (arcos apuntados, arbotantes que absorbían las tensiones de los muros) permitió a los constructores hacer ventanas más grandes, que llenaron con vidrios de vivos colores. Estas ventanas no sólo tenían una finalidad estética, sino también didáctica, reflejando la idea de Dios como fuente de luz y explicando las historias bíblicas en imágenes simples y dramáticas al pueblo que no sabía leer.

La belleza de este vidrio antiguo recae tanto en sus dibujos como en el material mismo. Se debe a sus imperfecciones: están llenos de burbujas y estrías que causan variaciones en sus índices de refracción que dan como resultado una riqueza visual de la que carece el vidrio moderno. Los colorantes usados eran menos puros, dando al vidrio una apariencia menos chillona.

El proceso de construir una vidriera debía ser largo. Los obreros tenían poco control sobre sus materias primas y a menudo debió ser difícil producir una pieza de vidrio del modo correcto para un propósito determinado. Los

⁵² DRAHOTOVÁ, O. (1990), p. 28.

elementos colorantes se obtenían de fuentes muy variadas, y su preparación era compleja, aunque solo se usaba un número limitado de estos elementos. El azul se obtenía del “zaffre”, una palabra árabe para el óxido de cobalto. El material que contenía este óxido era muy caro porque debía importarse de Oriente Medio, y se conocía como pigmento de Damasco. Más tarde se obtuvo en gran escala en Sajonia. El pigmento se extraía tostando el mineral para eliminar el sulfuro, el arsénico y otras sustancias volátiles. Otra materia para colorear de azul era la escoria de la fundición de bismuto, que contenía cobalto y trazas de níquel, y probablemente de hierro y cobre, y daba un azul algo diferente al cobalto. Combinando zaffre y compuestos de cobre se obtenía el verde mar. Los compuestos de hierro y cobre se usaban para dar verdes y rojos. El cobre se añadía como “ferretto” o cobre quemado, hecho con una receta proveniente de los tiempos clásicos. El cobre se calentaba con sulfuro para dar una masa negra de sulfuro de cobre, que era tostada hasta convertirse en ferretto. Amarillos y marrones se hacían con óxido ferroso, elaborado igual que el ferretto pero con hierro. El blanco opaco se hacía con óxido de estaño, el púrpura con manganeso, el rojo oscuro con hierro mezclado con una mezcla de óxidos de cobre y cinc calcinados, los rubíes se hacían con cobre y con una pequeña cantidad de tártar (estado cuproso)⁵³. Al tener los hornos una atmósfera reductora, se reforzaba el efecto.

Los detalles de las escenas de los vitrales, como drapeados, se hacían pintando sobre el vidrio y calentándolo, con un esmalte de pigmento negro derivado del hierro. Desde el s. XIII se usaba también un pigmento de clorito de plata o sulfuro de plata. Cuando se aplicaba sobre el vidrio transparente y se calentaban los colores, se obtenían tonos desde el amarillo al naranja. Se aplicaba sobre el vidrio cobalto para obtener verde, haciendo posible pintar el cielo y el campo en una sola pieza.

Al ser tan frágiles, no han sobrevivido muchas vidrieras hasta hoy. Se debe a dos razones: que los arqueólogos antiguos no prestaban atención al vidrio, sólo a los restos arquitectónicos; y que el vidrio contenía mucha potasa y se desintegró.

Métodos para hacer vidrio de ventana.

Se hacía según dos métodos: “corona” (*crown*) o “manchones” (*broad*). El del primer tipo, data de los romanos⁵⁴, o incluso de Siria, donde se empleaba ya en los siglos III y IV de nuestra era. Fue desarrollado por los vidrieros de Normandía medievales y se siguió haciendo hasta el s. XVIII.

El proceso llamado “corona” se basa en la formación de discos de vidrio. Consistía en recoger vidrio fundido con la caña y soplar para hacer una burbuja. El vidrio se recalentaba cada poco tiempo para mantenerlo blando. Se unía la burbuja a un puntil, y se separaba de la caña, dejando un orificio. Al recalentar y mantener continuamente la rotación (para evitar la deformación), el vidrio se reblandecía y se abría a causa de la fuerza centrífuga, formando un

⁵³ Estas recetas, aportadas por FRANK, S. (1982), se han seguido conservando a lo largo de los siglos, como se deduce de libros como el de HERO HERNÁNDEZ, A. (1962): *Fabricación y trabajo del vidrio*. Ed. Sintet, Barcelona

⁵⁴ FRANK, S. (1982)

disco ancho y delgado. Los vidrios obtenidos así eran pequeños, a causa de la forma de disco. Sin embargo, esta técnica permitía hacer piezas muy finas (una característica deseable para lograr transparencia a pesar de la coloración llena de impurezas), y la superficie del vidrio era brillante y pulida. La parte central, más gruesa, se llamaba “ojo de buey” o Bull’s eye⁵⁵ y se vendía más barato. Se utilizaba en edificios domésticos. Como ejemplo puede citarse que vidrio procedente de Normandía se usó para acristalar El Escorial hacia 1580⁵⁶.

El trabajo de los manchones cambió poco a lo largo de los años. El proceso ya se conocía en el siglo XII, descrito por el monje alemán Teófilo en su libro *Schedula Diversarum Artium*. Consistía en hacer una gran burbuja cilíndrica y alargada de vidrio, abrirla en un extremo, cortarla a lo largo y estirla en forma de hoja. Esta técnica permitía hacer piezas más grandes que el vidrio corona, pero la superficie era menos pulida a causa del uso de herramientas que la rozaban. Esta técnica era una especialidad de los vidrieros de Lorena y Renania. Vino originalmente de Bohemia, pero a principios del s. XV empezó a viajar, asentándose en la boscosa región de los Vosgos, donde había mucho combustible⁵⁷, y en el s. XVI llegó a Inglaterra

Fuentes documentales para el conocimiento del vidrio medieval.

Los restos arqueológicos de esta época son la principal fuente de información, pero además de esta época son algunos textos de vidriería que explican de manera empírica cómo son las técnicas usadas durante siglos⁵⁸:

- **Hrabano Mauro: *De originibus rerum*.** Este religioso alemán que vivió entre el 776 y el 856, consejero de Carlomagno, escribió este tratado que contiene la representación de un horno de vidrio más antigua que se conoce.
- **Heraclio: *De coloribus et artibus romanorum*.** Parece haber sido un monje romano; Este manuscrito del s. X agrupa los conocimientos sobre vidrio de su época en la zona italiana, mezclando supersticiones antiguas junto con enseñanzas más concretas⁵⁹. Contiene algunas recetas para la fabricación de vidrio⁶⁰.
- **Teófilo: *De Diversis Artibus*.** Fue un monje benedictino durante la primera mitad del siglo XI. Era un artesano más que un teólogo. Aunque le interesa sobre todo el trabajo de los metales, el libro II del tratado lo dedica al vidrio. Teófilo describe los procesos en detalle. Incluye temas como construcción del horno, preparación de materias primas, recipientes para fundir el vidrio, producción de colores, vasijas y vidrio de ventanas y construcción de vidrieras emplomadas.

⁵⁵ De este nombre deriva el dado a las ventanas de los barcos. Una conocida fábrica norteamericana de vidrio, especializada en productos para termofusión, ha tomado también este nombre.

⁵⁶ FERNÁNDEZ NAVARRO (1991), p. 24.

⁵⁷ FRANK, S. (1982)

⁵⁸ *Ibidem*.

⁵⁹ DRAHOTOVÁ, O. (1990), p. 27.

⁶⁰ FERNÁNDEZ NAVARRO (1991), p. 21.

- **Vannoccio Biringuccio: *Pirotecnia*.** Originalmente impreso en Venecia en 1540, es un tratado de las artes de fundir y moldear metales y todos los temas relacionados, incluido el vidrio. Describe con detalle la construcción del horno de fundición y la preparación y fundición del vidrio. El trabajo está ilustrado con dibujos, incluyendo uno de un horno de vidrio.
- **Georgius Agricola: *De Re Metallica*.** La primera publicación de este libro data de 1556. Es el primer libro que pretende basarse en la investigación de campo. Permaneció como único libro “autoridad” en esta área durante más de 200 años. En sus capítulos de vidrio, Agricola copia a Biringuccio pero añade algunas variaciones importantes en la práctica. Las ilustraciones de hornos de vidrio son clarísimas.

Hornos de vidrio medievales.

Sus orígenes pueden ser rastreados hasta los hornos de Siria descritos en las tablillas de Assurbanipal, ya que no son sino la unión en un solo horno de los tres allí descritos: el de fritas, el de fundición y el de recocido⁶¹. Un manuscrito bohemio del s. XV muestra cómo eran las vidrierías de esa zona: el horno es rectangular, típico de las vidrierías del norte de Europa en esa época. El otro tipo de horno originado en los países mediterráneos pero esparcido por Europa tenía forma de colmena. A causa de su origen, fue llamado “horno del sur”, en oposición al “horno del norte” rectangular⁶².

Estos hornos tuvieron muchas variantes, pero todos tenían un espacio para el fuego bajo el compartimento de fundición, donde el vidrio se contenía en crisoles. A menudo el fuego servía también para calentar otro compartimento reservado al recocido de los objetos de vidrio formados.

Los hornos también tenían compartimentos para un proceso conocido como “frita”. Mucho vidrio antiguo es opalescente u opaco, y contiene muchas burbujas. Esto se debe a que las temperaturas de los hornos antiguos eran más bajas que en los modernos. Estas temperaturas antiguas no debieron superar los 1100°C (a juzgar por los restos de materiales de los que estaban hechos los hornos), y la mayoría de las mejoras en hornos no se produjeron hasta el s. XIX. El proceso de “frita”, ya conocido desde los albores de la industria vidriera, era un intento de mejorar la calidad del vidrio tratando previamente las materias antes de fundirlas. Se ponían en el compartimento de fritas a temperaturas más bajas que las de fundición, y se removían de vez en cuando para exponer al calor otras zonas. Esto eliminaban algunas de las materias gaseosas que de otro modo permanecían en el vidrio, y se quemaban diversas impurezas orgánicas. Como es un proceso largo, sucedían muchas de las reacciones necesarias para la fundición del vidrio. Después, esta frita se fundía para dar un vidrio de calidad razonable.

⁶¹ FORBES, R.J. (1966)

⁶² FRANK, S. (1982)

I.1.4. Vidrio veneciano.

Francia con sus extensos bosques de hayas era el principal productor de vidrio en el medievo, hasta que a finales del s. XV Venecia se convierte en el centro más interesante. Su influencia sería dominante en la vidriería europea los siguientes 200 años⁶³. Junto con Egipto y Roma, Venecia supuso el tercer gran centro de la artesanía vidriera en su evolución histórica.

Se hacía vidrio en Venecia desde el s. VII⁶⁴, aunque hasta el s. XI no comienza la artesanía veneciana propiamente dicha. El auge de Venecia como centro vidriero se debió a varios factores; el primero de ellos fue su localización espacial: hasta la caída de Constantinopla, los venecianos estaban en un punto favorable para el comercio tanto con Europa occidental como con Bizancio. Esto favoreció la llegada de piezas de vidrio, materias primas y artesanos vidrieros procedentes de Sidón, Tiro y Jerusalén. Entre las materias primas importadas se encontraba la famosa arena del río Belus⁶⁵. Bajo esas influencias, la industria vidriera veneciana fue aumentando su producción, a la vez que mejorando su calidad y su prestigio.

El aumento de la producción de vidrio en Venecia fue tan grande que hacia 1224 comenzó a funcionar una fuerte asociación gremial que recibía la protección estatal⁶⁶.

En 1291 los vidrieros de Venecia tuvieron que trasladarse a la isla de Murano, a causa del peligro de incendio para Venecia⁶⁷. Sin embargo, se cree que el riesgo de incendio era sólo una excusa del Consejo de la República de Venecia para proteger esta industria preservándola de posibles espionajes y de la fuga de sus artesanos más valiosos⁶⁸. Esta concentración y aislamiento favoreció el desarrollo del poderoso gremio de vidrieros, que tuvo efectos buenos y malos: los vidrieros gozaban de privilegios y pudieron experimentar nuevos diseños y composiciones, pero no se les permitía sacar sus secretos de la isla. A los que lo hacían se les seguía y mataba, pero a pesar de eso los vidrieros venecianos se las arreglaron para introducir el estilo veneciano en toda Europa⁶⁹.

A partir de finales del s. XIII se empieza a exportar el vidrio veneciano hacia otros países, como Inglaterra y Alemania. Las exportaciones van en aumento durante el s. XIV⁷⁰. Durante el s. XV son frecuentes documentos en diversas cortes en los que se describen los ajuares reales que contenían diversas piezas de vidrio veneciano⁷¹.

⁶³ FRANK, S. (1982).

⁶⁴ Entre los siglos VII y X los vidrieros venecianos hacían sobre todo téseras para mosaicos (como los de Rávena) y vidrio hueco corriente como botellas y frascos, con formas tardorromanas. FERNÁNDEZ NAVARRO (1991).

⁶⁵ FERNÁNDEZ NAVARRO (1991), p. 25.

⁶⁶ Ibídem, p. 26

⁶⁷ FRANK, S. (1982).

⁶⁸ FERNÁNDEZ NAVARRO (1991), p. 26.

⁶⁹ FRANK, S. (1982)

⁷⁰ DRAHOTOVÁ, O. (1990), p.33

⁷¹ RODRÍGUEZ GARCÍA, J. (1995), p. 49.

Después de 1453 sus mercados orientales cayeron, por lo que tuvieron que buscar recursos para favorecer sus exportaciones a occidente. Al mismo tiempo, se las arreglaron para producir un vidrio tan claro como el cristal de roca, que podía soplarse muy fino, conocido como “cristallo”. También descubrieron cómo producir vidrio de calidad en una variedad de colores, y decorarlo con dorados y esmaltes, técnicas aprendidas probablemente de refugiados orientales. Sus bellos diseños, a la vez decorados y delicados, fueron la base de un estilo, el “façon de Venise”, que se diseminó rápidamente a lo largo de otros países europeos, gracias a sus exportaciones en vidrio. Aunque se adaptó al gusto de diferentes zonas, la influencia veneciana permaneció predominante hasta finales del s. XVII.

Venecia mantuvo su monopolio hasta que a finales del s. XVI la producción de vidrio artístico empezó a cobrar gran auge en otros países, como los estados alemanes, España, Países Bajos e Inglaterra.

La producción artística veneciana.

A principios del s. XIII, las Cruzadas favorecieron la llegada de artesanos procedentes de oriente. En el vidrio esta influencia se dejó sentir con la incorporación de técnicas como las decoraciones esmaltadas.



Copa, vaso y aguamanil. Venecia, principios del siglo XVI.

Tras la caída de Constantinopla en manos turcas en 1453, muchos vidrieros orientales se trasladaron a Venecia. Hubo innovaciones en el diseño y en las formas, y empezaron a hacerse copas y cálices con pedestal, que se convertirían en una de las producciones más características de Venecia.

Las técnicas decorativas desarrolladas por los venecianos son también muy destacables. Destacan los “laticcinio”, filigranas que consisten en un entramado de líneas blancas en el interior de barras de vidrio transparente, que luego se incorporaban a las obras creando estructuras lineales (*vetro a fili*) y retículas (*vetro a reticello*).⁷²

⁷² DRAHOTOVÁ, O. (1990), p. 36



Izquierda: centro de mesa en forma de nave. Venecia, hacia 1550. Esta clase de objetos son especialidad de una mujer, Arminia Vivarini. Derecha: copa con tapadera en vidrio de filigrana, siglo XVI.

También rescataron la técnica egipcia de los “millefiori”, que se convirtió en una de las más típicas venecianas.

A partir del s. XVI, los talladores de vidrio adquirieron gran maestría. Entre los s. XIV y XVI se desarrolló también la fabricación de espejos.

Entre los s. XV y XVI se desarrolla la vidriería veneciana de un modo excepcional. Las formas son cada vez más ligeras y estilizadas, y el vidrio utilizado cada vez más fino⁷³.

⁷³ FERNÁNDEZ NAVARRO (1991), P. 26



Copas de mesa. Venecia, entre la segunda mitad del siglo XVI y la primera del XVII.

En el siglo XVII se acentúa la tendencia al uso de formas decorativas como el vidrio escarchado, o de colores fuertes como el violeta de manganeso. Las copas se adornan con pies exuberantes⁷⁴, con flores en relieve de vidrio opaco con colores fuertes. El carácter decorativo de estos objetos es más importante que el utilitario.

La “*façon de Venise*” en otros lugares de Europa

A pesar de todas las prohibiciones y castigos impuestos a los vidrieros venecianos, hacia finales del siglo XVI el estilo veneciano se había extendido por numerosos puntos de Europa. Conviven en Europa dos producciones de vidrio: el fabricado según la tradición local medieval, verde o incoloro, y el de estilo veneciano. Sin embargo, el vidrio *a la façon de Venise* no se limitó a hacer copias locales de productos venecianos, sino que cada lugar añadió al estilo de Venecia algunas características particulares⁷⁵.

Se sabe que vidrieros venecianos trabajaban al norte de los Alpes en el siglo XV⁷⁶, y que vidrieros con nombres italianos se instalaron en las vidrierías próximas a la corte de Madrid en el siglo XVI⁷⁷.

En Francia y en los Países Bajos el comercio de vidrio era próspero y existía una gran demanda de vidrio a la *façon de Venise*.

⁷⁴ DRAHOTOVÁ, O. (1990), p. 38

⁷⁵ JORGE GARCÍA-REYES, c. y LIMPO Y LLOFRIU, A. (1986), p. 33

⁷⁶ DRAHOTOVÁ, O. (1990), p. 57

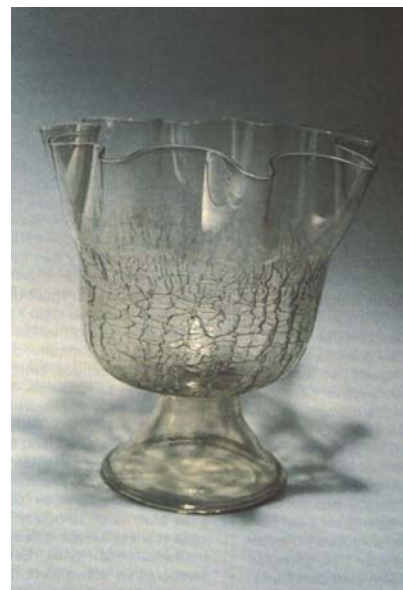
⁷⁷ RODRÍGUEZ GARCÍA, J. (1995).



El cubo escarchado, a la izquierda, es de manufactura veneciana, mientras el vaso escarchado de la derecha, está hecho en los Países Bajos. Esta técnica decorativa nacida en Venecia fue imitada pronto por todas las vidrierías que hacían *façon de Venise*.

En España, existieron manufacturas de vidrio de estilo veneciano entre los siglos XVI y XVIII, en Cataluña, Castilla y Andalucía. En Barcelona, la fabricación de vidrio estaba muy consolidada ya desde el siglo XIII, con un gremio de vidrieros muy importante; fueron tantos los hornos de vidrio en la ciudad, que llegó a promulgarse una normativa para sacarlos fuera, debido al peligro de incendio.

Cada una de las vidrierías españolas que realizaban vidrio a la *façon de Venise* tenía características específicas. Todas estas vidrierías fueron eclipsadas por la Real Fábrica de Cristales de La Granja, fundada en 1728, que trabajó el estilo barroco de Bohemia, Alemania y Francia.



Dos piezas procedentes de Cadalso de los Vidrios, en la provincia de Madrid, ambas del siglo XVII.



Jarrón, Barcelona, finales del s. XVI.
Se trata de una pieza al estilo veneciano,
pero con una decoración esmaltada que
recuerda más el *horror vacui* medieval.

I.1.5. El vidrio alemán y bohemio

En la zona germana la influencia de Venecia se dejó sentir sobre todo en las ciudades. Sin embargo, muchos vidrieros, dispersos en los bosques en vidrierías de explotación familiar, mantuvieron su aislamiento durante varios siglos, lo que les permitió desarrollar su propio estilo hasta el siglo XVI⁷⁸. Este estilo era tosco pero alrededor de 1550 aparecen en las vidrierías forestales objetos de estilo renacentista y aspecto original⁷⁹. Los vasos, a diferencia de los venecianos, tienen un gran volumen, ya que se usan para pasar de mano en mano (y de boca en boca) en los banquetes. En ocasiones están adornados con hilos de vidrio horizontales o con filas de gotas de vidrio horizontales, para que cada bebedor sepa qué cantidad de líquido le corresponde. Dos de los tipos de vaso más habitual son el *Rohmer* y el *Humpen*⁸⁰.

⁷⁸ FERNÁNDEZ NAVARRO (1991), p. 28

⁷⁹ DRAHOTOVÁ, O. (1990), p. 70

⁸⁰ FERNÁNDEZ NAVARRO (1991), p. 30



Izquierda: dos vasos *Rohmer*. Alemania, primera mitad del siglo XVIII. Esta forma de copa, cuyos orígenes son anteriores al siglo XV, acaba convirtiéndose en un vaso de celebración típico de la zona del Rin. Derecha: Vaso alemán de mediados del siglo XVII.

Como ya se mencionó más arriba, la lejanía del mar impedía el acceso a las cenizas sódicas, obtenidas quemando ciertos tipos de algas, y los vidrieros germanos debieron buscar el recurso de las cenizas potásicas de helechos y haya; hacia el siglo XIV habían obtenido un vidrio con un porcentaje semejante de sílice y potasio, y una gran cantidad de calcio; era un vidrio difícil de moldear, pero de buenas cualidades de transparencia y resistencia, y muy adecuado para la talla.

El origen de los vidrios tallados germanos puede ser la aplicación de las técnicas ya conocidas para hacer tallas en cristal de roca (una especialidad bohemia desde hacía tiempo)⁸¹; o tal vez fuera influencia de la talla en vidrio veneciana⁸², introducida a partir del siglo XVI y a la que pronto aventajaron. La talla y el grabado a la rueda llegaron a una gran perfección. La calidad del

⁸¹ FRANK, S. (1982)

⁸² FERNÁNDEZ NAVARRO (1991), p. 29, y DRAHOTOVÁ, O. (1990), p. 95.

vidrio logrado, la habilidad de los talladores y el clima artístico de la época produjeron piezas de gran calidad, vendidas por grupos de comerciantes bien organizados a lo largo de toda Europa.



Izquierda: vaso "flauta". Decoración grabada a la rueda. Nuremberg. Final del siglo XVII. Derecha: vaso con decoración grabada a la rueda. Silesia. Final del siglo XVII.

A partir del siglo XVI comienza a notarse la influencia veneciana no sólo en la creación de vasos cuyas formas recuerdan a la *façon de Venise*, sino en la producción de vasos pintados con esmaltes vitrificables coloreados. Esta manufactura, caracterizada por decoraciones muy recargadas, se extendió en talleres familiares que se dedicaban a la decoración polícroma, monocroma o en grisalla.



Vasos *Humpen* esmaltados. El de la izquierda, proviene de Sajonia y está decorado con motivos alegóricos. El de la derecha, fue realizado en Bohemia, y tiene una escena de la vida de Jesucristo. Ambos son de la última mitad del siglo XVII.



Copa tipo *Hanap* con tapadera, en vidrio rojo rubí. Bohemia, hacia 1690. Talla a facetas con posterior pulido.

Los vidrios coloreados fueron desarrollados a alto nivel por los alemanes; un investigador de la época fue Johann Kunckel, el director de la vidriería de Elector de Brandemburgo en 1670, que fue el primero en desarrollar y escribir una fórmula aceptable para el vidrio rojo rubí intenso, usando clorito de oro como agente colorante. También se produjo un vidrio blanco opal “porcelana” añadiendo cenizas de huesos que contenían fosfatos como opacificador. Este vidrio opal tuvo mucho éxito durante el XVIII, cuando se pusieron de moda los objetos de porcelana, que eran muy caros.

La fama del vidrio de Bohemia fue creciendo por encima de la del vidrio veneciano hasta tal punto que en el siglo XVIII se producían en Venecia algunas piezas a la *façon de Bohème*⁸³.

I.1.6. El vidrio inglés

Aunque no está claro que los hallazgos de vidrio romano y sajón encontrados en Inglaterra sean originarios de allí, sí se sabe con certeza que se hizo vidrio en la Edad Media (documentos diversos, hallazgos de vidrios y crisoles rotos...)⁸⁴. Hubo industrias vidrieras en Surrey (Chiddinfold, Surrey-Sussex,

⁸³ DRAHOTOVÁ, O. (1990), p. 38

⁸⁴ FRANK, S. (1982)

Weald) Es posible que esta industria comenzase con vidrieros franceses. Es una industria retrasada respecto a la contemporánea francesa, aunque mostró cierta expansión en la segunda mitad del XVI. La calidad de sus mercancías nunca alcanzó la del vidrio normando, que se importaba en gran escala. Pero la industria continuó lentamente, porque la disponibilidad de combustible, materia prima, y lo barato de las instalaciones, permitía a familias granjeras obtener unos ingresos extra.

En 1567 vino a Inglaterra Jean Carré, comerciante flamenco que instaló una vidriería de vidrio plano y obtuvo el monopolio de la industria y la restricción de importaciones, otorgado por Isabel I. “Heredó” esta plaza privilegiada un veneciano, Jacob Verzelini, que además de vidrio de ventana fabricó vasijas de cristal estilo veneciano, difundiéndolo en Inglaterra. Su capacidad técnica puso la base para una industria vidriera que tuvo cierto éxito en Inglaterra durante dos siglos.

Hornos de carbón

Al crecer la industria vidriera se hizo cada vez más difícil para los vidrieros obtener madera como combustible. Necesitaban mucha cantidad y entraban en competencia con la industria del hierro por unas reservas que disminuían. La madera era también muy demandada para hacer barcos de guerra. Esto condujo a experimentar el calentamiento con carbón desde principios del siglo XVII. Hay documentos de la corona, otorgando monopolios para fabricar vidrio con carbón a diversos vidrieros desde 1610⁸⁵. En 1615 se prohibió el uso de madera en los hornos de vidrio, sustituyéndolo por carbón. La industria era dominada por Robert Mansell, que la impulsó y desarrolló en las zonas productoras de carbón (sur de Escocia, Tyneside y Stourbridge).

Cristal de plomo

La oportunidad de avanzar para la industria vidriera británica coincidió con el descenso de popularidad de los elaborados estilos venecianos que habían dominado el gusto europeo durante siglos. Comenzando la segunda mitad del XVII se desarrollaron en Inglaterra varios tipos de vidrio, culminando con el pesado cristal de plomo que fue admirablemente usado en los nuevos estilos más simples.

Aunque el vidrio con plomo se conocía desde la antigüedad, en el s. XVII fue desarrollado por George Ravenscroft⁸⁶, que comenzó sus experimentos en Londres en 1673. Desde el principio, su vidrio tuvo la mejor apariencia debido a una cuidada selección de materias primas. En 1674 obtuvo la patente y se instaló en una vidriería en Henley-on-Times, Oxfordshire, con la Worshipful Company of Glass Sellers de la ciudad de Londres. Aquí continuó sus experimentos mientras la compañía buscaba un mercado para su producción. El primer vidrio fabricado por Ravenscroft no fue más que una reproducción del cristal veneciano, pero hacia el 1676 es probable que ya añadiera óxido de plomo a los materiales para fundir, y añadiría probablemente como fundente potasio en vez de sosa, que es mejor en los cristales de plomo para permitir el soplado. Desde 1685 se consiguió fabricar y vender vasijas de alta calidad.

⁸⁵ FRANK, S. (1982)

⁸⁶ Ibídem.

Siguiendo el éxito del cristal de plomo, la industria vidriera inglesa consiguió una posición predominante que duraría 100 años. Los vasos de esa época tenían gran variedad de tamaños, formas, decoraciones y tipos de pie, que contenían por ejemplo una burbuja de aire girada, o hilos de vidrio coloreado u opal retorcidos... Aunque Inglaterra era el país manufacturero de vidrio más importante, cada país europeo hacía mucho vidrio. Incluso los vasos de vidrio se hacían entre varios países, como los que se enviaban de Inglaterra a Holanda para ser tallados allí, y después se reimportaban y vendían.

I.1.7. El vidrio en Norteamérica

Desde 1608 se implantaron pequeñas industrias vidrieras que no tuvieron éxito y debieron cerrar. Sobrevivió más tiempo la que fundó el alemán Caspar Wistar en 1739 en Salem, New Jersey, donde trabajaron él y su hijo hasta la revolución. Produjeron un vidrio soplado libremente y sin decoraciones⁸⁷.

Hasta 1763 no apareció otra industria importante. Henry William Striegel, un pintoresco personaje conocido como el “Barón Striegel”, trabajando con un equipo de sopladores alemanes, comenzó a producir una variedad de objetos de vidrio de uso doméstico. Pero quería hacer vidrio fino al estilo europeo, por lo que desarrolló e instruyó a un equipo de 130 trabajadores en técnicas venecianas. No tuvo éxito, y cayó en bancarrota en 1774.

Hubo en esta época otra factoría que hacía vidrio de calidad para uso doméstico en Maryland, la New Bremen Factory de Johann Friedrich Amelung. Existieron otros talleres de vidrio a mucha menor escala, haciendo botellas y vidrio de ventana. La industria se expandió lo suficiente como para establecerse con éxito durante las dos últimas décadas del siglo. Vinieron de Europa artesanos de vidrio, y enseñaron sus habilidades a los americanos; se encontraron y probaron fuentes de materias primas. Estos éxitos prepararon el desarrollo de la industria vidriera durante el s. XIX, cuando Norteamérica se convirtió en líder en una época de producción masiva.

I.1.8. La Real Fábrica de Cristal de la Granja.

A comienzos del siglo XVIII la manufactura del vidrio en España estaba en decadencia. Felipe V quiso proteger esta industria y apoyó la construcción de una fábrica en Nuevo Baztán, que funcionó poco tiempo pero produjo vidrios de elevada calidad⁸⁸. Fue la precursora de la Real Fábrica de Cristales de La Granja.

Esta fábrica se emplazó en las inmediaciones del pueblo de Valsaín, lo que garantizaba un buen suministro de combustible, gracias a sus bosques, y una demanda de productos por parte de la corte (se estaba construyendo en ese momento el Palacio de La Granja de San Ildefonso en ese mismo emplazamiento). Pronto se contrataron vidrieros franceses y alemanes, que influyeron decisivamente en la tipología de los vidrios huecos creados allí: vasos, copas, jarras, vinagreras, compoteras, floreros, aguamaniles, figuras de

⁸⁷ FRANK, S. (1982)

⁸⁸ FERNÁNDEZ NAVARRO (1991), p. 35.

animales⁸⁹... Además se fabricaron vidrios planos por el procedimiento de manchones, espejos por el procedimiento de vidrio colado y pulido, arañas y candeleros que pueden admirarse aún en muchos palacios. Se utilizaba vidrio de gran calidad (generalmente vidrio de plomo o cristal), y sus productos fueron evolucionando según el gusto de la época. Desde 1829 se alquiló y pasó a manos privadas; se mantuvo activa en distintos usos hasta 1972. Desde hace algunos años se ha convertido en el Centro Nacional del Vidrio, ampliando cada vez más sus instalaciones dentro de lo que fue la antigua fábrica.

I.1.9. El vidrio artístico en los siglos XVIII y XIX

Son pocas las innovaciones técnicas que pueden apreciarse durante estos siglos; los cambios se deben sobre todo a la adaptación de la producción artística vidriera a los estilos artísticos predominantes en cada momento.



Izquierda: vaso con decoración grabada procedente de Silesia, hacia 1750.
Derecha: vasos decorados con pintura traslúcida, Bohemia, hacia 1830.

Durante el siglo XVIII cobran auge en Bohemia los vidrios *doblados*; la técnica de doblado era conocida ya en la época romana, y se relaciona con la que más arriba hemos llamado de *oro en sándwich* o de *fondo de oro*. La forma de crear estos vidrios consiste en “hacer dos objetos de vidrio, recubriendo uno totalmente al otro”⁹⁰. Entre las dos paredes de vidrio se aplica una capa fina de oro o de plata. La innovación bohemia consistió en suprimir la aplicación de la segunda capa de vidrio en caliente, uniendo las dos láminas de vidrio mediante una capa resinosa. Algunos de estos vidrios, además, imitan piedras preciosas mediante la pintura al óleo. Parece que estos vidrios se fabricaron sobre todo durante la primera mitad del siglo XVIII, y es posible que salieran de un mismo taller de Bohemia.

⁸⁹ FERNÁNDEZ NAVARRO (1991), p. 35

⁹⁰ DRAHOTOVÁ, O. (1990), p. 139.

También hay un interés creciente por los vidrios coloreados. En las vidrierías Bohemias de los siglos XVII y XVIII se sigue produciendo el vidrio rubí, y también las tonalidades de azul cobalto, violeta de manganeso y amarillo miel. Comienza a utilizarse el vidrio de uranio, que puede verse amarillo o verde según el ángulo de incidencia de la luz sobre el vidrio. Se realizan con frecuencia tallas sobre vidrios de color en los que hay dos capas: la interior, más clara que la exterior, resaltando los ángulos de la talla.



Vasos de vidrio coloreado y tallado, Bohemia, hacia 1830.

Desde principios del siglo XIX se ponen de moda en Francia los vidrios opales u *opalinas*, que pronto se difunden a otras vidrierías artísticas europeas. Se trata de vidrios traslúcidos en diversas tonalidades pastel, que pueden llevar tallas, esmaltados y dorados.

Otro desarrollo importante para la manufactura de vidrio es el uso de moldes de varias piezas dentro de los cuales se sopla el vidrio; algunos tienen relieves en su interior (empleados sobre todo en Europa Central y Bohemia), mientras otros imitan el vidrio tallado (Irlanda e Inglaterra). Comienzan a utilizarse también moldes para prensado de vidrio, técnica proveniente de Estados Unidos, que llegó a llamarse *sandwich glass*⁹¹ por la fábrica donde se hacía, Sandwich Glass Company. El vidrio prensado tuvo mucho éxito en Francia, donde las fábricas de Baccarat y Saint-Louis empleaban este procedimiento para hacer vidrio de mesa. La técnica del vidrio prensado se difundió por todo el mundo en el transcurso del último tercio del siglo XIX.

I.1.10. Expansión y automatización

Durante los siglos XVII y XVIII la industria del vidrio se afianza en el mundo. Este auge se debe a varios factores. Uno de ellos es la divulgación de los conocimientos vidrieros gracias a publicaciones como la de Antonio Neri: *L'arte Vetraria*. Era un vidriero que publicó en 1612 la primera recopilación sistemática de la preparación y tratamiento de materias primas para hacer vidrio, junto con indicaciones para fundir una gran variedad de vidrios. Esta obra tuvo gran influencia durante 200 años, siendo traducida a varios idiomas.

⁹¹ DRAHOTOVÁ, O. (1990), p. 190.

Otro de los factores que contribuyeron al crecimiento de la industria del vidrio fue el espíritu científico de la época, precursor de la ciencia actual. La óptica y la industria vidriera se influyeron mutuamente: si la lupa era conocida desde siglos antes, y los “roidi da ogli”⁹² (discos para ojos) ya eran un producto veneciano a finales del siglo XIII, es a comienzos del siglo XVII cuando los trabajos ópticos de Galileo proporcionan suficiente rigor científico para la construcción de los primeros anteojos astronómicos y microscopios.

La creciente química empieza a demandar la fabricación de instrumental de vidrio. Por otra parte, contribuye a la preparación y el estudio de los materiales necesarios para la fabricación de vidrio, proporcionando materias más puras. Esta tendencia ha continuado hasta nuestros días, en los que la pureza de los materiales se conoce exactamente en la moderna y científica industria del vidrio.

La demanda de vidrios específicos para distinto uso (óptica, etc.) favoreció la investigación en el ámbito del vidrio, y destaca el trabajo del alemán Schott⁹³ que incorporó elementos hasta entonces no empleados, logrando vidrios con fines científicos.

A finales del XVIII las economías en expansión de Europa y América fueron aumentando la demanda de vidrio. Se organizaron mejor, tanto a nivel fábrica (bien equipadas y financiadas) como comercio (distribución y ventas). Otro factor que contribuyó al auge de la industria de vidrio fue la revolución industrial. Se desarrollaron máquinas para la producción masiva. En Norteamérica, los trabajadores eran escasos y las demandas altas, por lo que su meta fue pronto aumentar la productividad. A mediados del XIX se hacía un vaso prensado barato de calidad aceptable, en sustitución del caro vidrio de plomo tallado.

Hacia 1880 la vidriería se aproximaba a una revolución tecnológica. Se habían desarrollado las características básicas para la maquinaria de precisión: hornos tanque, donde el vidrio se fundía continuamente en gran escala (en oposición a los hornos pequeños, que fundían a pequeña escala y de manera intermitente), producción de gas natural, control de la temperatura⁹⁴, etc.

Estas oportunidades técnicas fueron aprovechadas por unos cuantos vidrieros en Toledo, Ohio. Edward Drummond Libby, un empresario hábil y Michael Joseph Owens, que perfeccionó la máquina de producción mecánica de botellas, combinaron los procesos de fabricación de tal modo que dejaron obsoletas todas las tecnologías de vidrio existentes. Desarrollaron máquinas para fabricar botellas, tulipas de lámpara, vidrio de ventanas... En 1920, los trabajadores “manuales” en muchas ramas de la industria fueron desplazados y se aceleró la tendencia a la mecanización. En menos de 50 años, las fundiciones industriales de vidrio tal como las conocemos hoy, se habían establecido.

⁹² FERNÁNDEZ NAVARRO (1991), p. 38.

⁹³ Ibídem, p. 43.

⁹⁴ FRANK, S. (1982)

I.2. LA ESCULTURA EN VIDRIO. Vidrio contemporáneo.

Hay varios factores que han influido en la aceptación del vidrio como material artístico en la escultura contemporánea. Uno de ellos es la liberación de la artesanía del vidrio del ámbito de la producción de objetos utilitarios, gracias a la mecanización industrial. Este hecho supuso varios cambios en la relación entre los artistas y el vidrio. El primero de ellos es la incorporación de diseñadores (artistas de diversos ámbitos: pintura, escultura, arquitectura) al proceso de fabricación, de manera que el vidrio se convierte en auténtico medio para la expresión artística. Se producen así en las fábricas cierto tipo de colaboraciones entre los artistas que diseñan las obras y los operarios del vidrio, que las desarrollan. Sin embargo, rara vez el artista manipulaba el vidrio él mismo. Por otra parte, a comienzos del XIX, cuando se produce la industrialización, en la mayoría de las fábricas se sustituye a los artesanos por operarios. Las innovaciones mecánicas señalan una decreciente necesidad de artesanos vidrieros cualificados y de sopladores. Sólo los laboratorios, el arte del vidrio y otros ámbitos especializados continuaron requiriéndolos⁹⁵. El trabajo artístico con este material fue realizado por un pequeño número de artesanos durante la primera mitad del siglo XX.

En este contexto, se fue gestando un movimiento que revivió la manufactura de vidrio como un arte contemporáneo y como un medio escultórico. El vidrio no industrial comenzó a verse como un medio artístico para crear, propiciando, entre otros avances, el posterior nacimiento del *studio glass* en los años 50⁹⁶.

I.2.1. La transición desde el siglo XIX y los primeros años del XX

Durante siglos, la dicotomía existente entre las “artes mayores” y las “artes menores” había relegado el trabajo del vidrio al ámbito de las artesanías y oficios artísticos. Sin embargo, a lo largo de la historia el vidrio se ha trabajado en formas funcionales y esculturales, algunas veces acercándose al ámbito del llamado “arte”. Uno de los primeros en tratar de borrar las fronteras entre arte y artesanía fue John Ruskin, quien con sus escritos sobre estética durante la segunda mitad del siglo XIX rechazó la distinción entre las llamadas artes mayores y menores.⁹⁷

⁹⁵ FRANTZ, S. K. (1989)

⁹⁶ El *studio glass* es para los historiadores de vidrio contemporáneos norteamericanos un hito en el desarrollo de la escultura en vidrio; más adelante en este mismo capítulo se explica qué es el *studio glass*, y qué otros movimientos artísticos en vidrio cuando menos tan importantes como aquél se produjeron en Europa.

⁹⁷ HAWORTH-MADEN, C. (1999), p. 9.

William Morris, que propició en Inglaterra el movimiento conocido como *Arts and Crafts* trazó un puente entre artistas y artesanos, y anticipó en cierto modo el estilo Art Nouveau⁹⁸, que sería importantísimo en el ámbito de la creación artística con vidrio.

El Art Nouveau, que se desarrolló desde 1890 hasta la primera década del siglo XX tuvo una gran repercusión en varios países europeos y en Estados Unidos. Se caracterizó por un desafío a la tradición artística académica, y por una inspiración en la naturaleza, posiblemente de influencia oriental⁹⁹.

Entre los primeros artistas que adoptaron tal actitud están los franceses Emile Gallé (1846-1904) y René Lalique (1860-1945), y el americano Louis Comfort Tiffany (1848-1933). Estos artistas eran propietarios de sus fábricas y solían ocuparse ellos mismos del diseño de objetos funcionales o esculturales producidos en su empresa. Creaban piezas únicas y también ediciones limitadas de piezas en vidrio. La asociación íntima entre artista-diseñador-empresario, junto con la alta calidad del vidrio y el énfasis en la individualidad de cada objeto, situó su trabajo en la categoría de “artístico”¹⁰⁰.

De los tres, Gallé fue el que más se relacionó con movimientos artísticos del momento, como el simbolismo (incluyendo en algunas de sus obras, entre las imágenes, textos de poesía simbolista). Gallé y la escuela de Nancy produjeron un vidrio modernista muy característico, con una versión de la técnica antigua de camafeo que utilizaba ácidos para grabar el vidrio, creando efectos mateados y suavemente coloreados, con formas sutiles basadas en la naturaleza.

Pertenecientes a la escuela de Nancy también fueron los hermanos Daum, que trabajaban el grabado al ácido y una adaptación de la técnica de pasta de vidrio, que ya había sido utilizada con anterioridad por Henry Cros¹⁰¹.

Lalique, que era joyero, comenzó a experimentar con vidrio desde la década de 1890, probando la creación de piezas de vidrio a partir de las técnicas de pasta de vidrio y cera perdida, (que adaptó de la homónima para fundición de bronce), vidrio soplado en molde y vidrio prensado, utilizando diversos tipos de vidrio transparente y opalescente¹⁰². A partir de 1902 estableció una fábrica de vidrio, en la que produjo botellas de perfume, jarrones, vasos decorativos y otros objetos, entre ellos “mascotas de coche”¹⁰³, alguna de las cuales pueden admirarse en el Museo Art Nouveau de Salamanca. Su producción se extendió hasta 1939, incluyendo no sólo piezas al estilo *Art Nouveau*, sino también *Art Déco*.

⁹⁸ El *Art Nouveau* recibe diversos nombres según el país en el que se desarrolle. En España es el *modernismo*.

⁹⁹ DRAHOTOVÁ, O. (1990), p. 196.

¹⁰⁰ FRANTZ, S. K. (1989)

¹⁰¹ Más adelante en este mismo epígrafe se habla de la obra de este escultor.

¹⁰² BAYER, P. y WALLER, M. (1988), pags. 33-43

¹⁰³ HAWORTH-MADEN, C. (1999), p. 22.



Tiffany, vasos de vidrio ágata y marmoleado.
Alrededor de 1910.



René Lalique. Figura de mujer.
Cera perdida. 1901-1905. 44 cm

Tiffany trabajó extensamente en el ámbito de las vidrieras, en las que introdujo un nuevo concepto de la creación de formas. En la creación de objetos de vidrio soplado y prensado sus influencias se deben al arte oriental y al arte romano en vidrio. Destacó sobre todo por los efectos metálicos e irisados conseguidos en sus obras, por el uso de técnicas como las millefiori y por las formas de las vasijas (floreros sobre todo), desde las sencillas formas simétricas imitación de las clásicas antiguas, hasta las sopladas libremente en forma de flor¹⁰⁴.

Las dificultades técnicas para dominar el trabajo del vidrio caliente continuaron separando artistas y artesanos hasta que fueron conquistados por otro francés: Maurice Marinot (1882-1960). Un pintor relacionado con los Fauves, se interesó en utilizar las vasijas de vidrio como soporte artístico. En la fábrica de M.M. Viard se hacían vasos con sus especificaciones, y luego él los pintaba con esmaltes. En poco tiempo, le pareció que limitarse a decorar la superficie era poco, y que prefería esculpir el vidrio caliente él mismo. La aproximación revolucionaria de Marinot al vidrio se dejó notar en sus técnicas aparentemente heterodoxas. Creaba efectos velados usando una red de minúsculas burbujas y vidrio y metal pulverizado. Líneas de vidrio aplicadas en caliente decoraban las formas. Más tarde, estas formas, influidas por el *Art Déco*, se trataban con ácido. Marinot, con su punto de vista artístico, se sentía libre para poner y quitar el vidrio, material maleable, a su antojo, creando formas esculturales. Por

¹⁰⁴ POTTER, N. y JACKSON, D. (1999), pags. 27-48

desgracia, la mayor parte de su obra artística se perdió durante la segunda guerra mundial¹⁰⁵.



Vaso realizado por Marinot en 1934.

Otros artistas franceses que continuaron en la línea de Marinot fueron André Thuret (1898-1965) y Henri Navarre (1885-1971). Este último también usó pasta de vidrio.

La técnica de la pasta de vidrio constituye un importante ámbito de trabajo escultórico junto con el vidrio caliente. Fue utilizada por primera vez por el escultor Henry Cros (1840-1907), que redescubrió esta técnica ya empleada en la antigüedad. Quería obtener un material permanente con las cualidades de acabado de la cera y el mármol y que permitiera policromías. Cros moldeó granillas coloreadas de vidrio en imitación de lo que él creía que era una antigua técnica romana. Sus placas de pared, fuentes y esculturas de bulto redondo eran objetos únicos.

Siguieron a Cros y su técnica otros artistas, en su mayoría franceses: Albert Dammouse (1848-1926), Jules-Paul Brateau (1844-1923), Georges Despret (1862-1952), Gabriel Argy Rousseau (1885-1953), y François-Emile Décorchemont (1880-1971). Las obras de estos artistas eran sobre todo vasos y cuencos decorados con temas de la naturaleza (por tanto, menos escultóricos que Cros). Amalric Walter (1870-1959), sin embargo, sí hizo figurillas exentas en ediciones limitadas. Estos artistas mencionados aquí, se consideran los primeros que eligieron el vidrio como medio para su arte y que fueron autodidactas en sus propios estudios¹⁰⁶.

Entre los años 20 y 50, destaca la labor de otro pionero, Jean Sala (1895-1976), que trabajó con vidrio soplado. Hijo de un vidriero catalán, aprendió el oficio en España, aunque después se trasladó a París, a Montparnasse, donde instaló un pequeño horno en el que trabajaba con casco de vidrio, consiguiendo un material lleno de burbujas llamado *malfin*. También trabajó pasta de vidrio.

¹⁰⁵ HAWORTH-MADEN, C. (2000), p. 9

¹⁰⁶ FRANTZ, S. K. (1989)

Aristide Colotte, contemporáneo de Sala, trabajó con bloques grandes y pesados de cristal, que tallaba y pulía en formas escultóricas¹⁰⁷.

I.2.2. Los años 30 y 40 del siglo XX

Dos son las características más destacadas de esta época respecto al vidrio: de una parte, el desarrollo del diseño y el papel cada vez más importante que adquiere el artista-diseñador en la fábrica, y de otra, el afianzamiento de una escultura en vidrio totalmente integrada en el arte de su época.

Artistas diseñadores en el entorno industrial

Son muchos los países en los que la industria del vidrio integra al diseñador en la fábrica. Así, se introducen cambios importantes en las líneas de producción de vidrio funcional y decorativo.

Algunos pintores, como Simon Gate (1883-1945) y Edvard Hald (1883-1980), trabajan como diseñadores en fábricas de vidrio, con un interés especial en los acabados artísticos, como la compañía sueca Orrefors Glasbruk¹⁰⁸. Este trabajo fue interesante porque estos dos artistas, que no tenían ideas preconcebidas respecto al vidrio, puesto que no lo habían manejado, hicieron diseños pensando sólo en sus cualidades específicas como materia, y revisaron sus propiedades físicas para investigar nuevas posibilidades técnicas. Más adelante, el diseño sueco de vidrio se empezó a interesar por las posibilidades esculturales de este material. La compañía Orrefors incorporó las técnicas que llamaron “*graa!*” (en la que un diseño grabado o tallado es encerrado en una fina lámina de vidrio transparente) y “*ariel*”, en la que dibujos realizados por composiciones de burbujas son también atrapados entre finas paredes. El diseño en vidrio sueco fue durante muchos años un punto de referencia del “buen gusto”¹⁰⁹.

Otra fábrica que tuvo una especial relación con artistas o tendencias artísticas en su producción fue la N.V. Kokinklijke Nederlandsche Glasfabriek Leerdam, de Holanda. Interesada por el modernismo y el funcionalismo, pidió a varios arquitectos, entre ellos Lloyd, que proyectasen objetos “bien diseñados” para el uso diario. Su diseñador oficial, Dirk Copier introdujo en 1930 el concepto de *Unica*, una obra de soplado libre, hecha en colaboración entre artista y maestro vidriero¹¹⁰.

En Finlandia, hay una actitud innovadora hacia el vidrio ya en las décadas de 1920-30. El diseñador Alvar Aalto, entre otros, diseñó objetos de vidrio para una fábrica finlandesa (Karhula-littala)¹¹¹. El diseño de vidrio finlandés de los 50 está ampliamente influido por la introducción de formas macizas, llenas de pequeñas burbujas o profundos tallados. Este espíritu innovador alentó experimentos tales como soplar vidrio en moldes de bloques de madera, que producían superficies irregulares.

¹⁰⁷ HAWORTH-MADEN, C. (2000) p.11

¹⁰⁸ FRANTZ, S. K. (1989)

¹⁰⁹ HAWORTH-MADEN, C. (2000), pag 34.

¹¹⁰ FRANTZ, S. K. (1989)

¹¹¹ HAWORTH-MADEN, C. (2000), p. 37.

En Italia se intentó dar un nuevo auge a la industria Veneciana; en 1921 el diseñador Vittorio Zecchin (1878-1947) fue director artístico de Vetri Soffiate Muranesi Cappellin-Venini & Company, fundada por el abogado Paolo Venini y el hombre de negocios Giacomo Cappellin. Desde ese momento, las empresas italianas frecuentemente contrataban diseñadores que a menudo venían de la arquitectura. Al mismo tiempo, las fábricas de Murano, nunca abandonaron la idea decimonónica del artesano diseñador. Por esta razón, muchos de los diseños en vidrio más innovadores de mitad de siglo surgen de las manos de los maestros Alfredo Barbini y de Archimede Seguso¹¹².

Fábrica y artista asociados en las creaciones escultóricas.

Europa occidental.

Durante muchos años, el pequeño tamaño y la flexibilidad de las fábricas italianas las han situado entre las pocas donde un artista de vidrio independiente podría trabajar. Venini fue especialmente favorable y abrió sus puertas a una variedad de visitantes, incluyendo artistas del *studio glass* entre 1960 y 1970.

Desde 1954, el marchante Egidio Constantini concibió la idea de comisionar pintores y escultores importantes para diseñar vidrio. Creó el *Centro Studio Pittori nell' Arte del Vetro di Murano*. La mayoría de los artistas enviaban sus dibujos a Constantini, que los mandaba realizar en diversas fábricas que los interpretaban a su manera. Otros viajaron a Murano y colaboraron en la producción con los artesanos italianos. Se hacían como mínimo tres piezas de cada diseño: una para el artista, otra para Constantini, y otra para la mecenas, Peggy Guggenheim. Docenas de artistas (Mark Tobey, Pablo Picasso, Max Ernst, Alexander Calder, Oscar Kokoschka, Hans Arp, Dorothea Tanning, Joan Miró, Alberto Giacometti, Gino Severini), produjeron obras en vidrio bajo los auspicios de Constantini¹¹³.

En el Reino Unido los esfuerzos escultóricos se concentraron en la talla y el grabado de vidrio, en torno a dos grupos de artistas. La figura clave del primero de ellos es Helen Monro Turner (1901-1977), que en 1956 fundó el taller Juniper con sus alumnos Val Rossi (n. 1934) John Lawrie (n.1929), y Ronald Renton (n. 1931). Su enfoque era bastante distinto al del relieve continental. Las formas de gran tamaño, diseñadas, talladas y arenadas en el taller no se basaban sólo en el vaso, sino que eran cercanas a la escultura de Henri Moore y Bárbara Hepworth.

El segundo grupo de artistas británicos del vidrio lo constituyeron William J. Wilson (n. 1914), y Whistler (n. 1921), que trabajaron independientemente desde 1935, reviviendo la laboriosa técnica del siglo XIX del tallado de punta de diamante. Las imágenes de Whistler se componen de miles de finas marcas ralladas en bloques de vidrio incoloro soplado según sus especificaciones. Más que trabajar en piezas de vidrio plano, hace del vaso una parte integral de su

¹¹² FRANTZ, S. K. (1989)

¹¹³ Ibidem.

diseño. Una forma, vista a través de una pared de un cuenco, se integra ópticamente con el diseño del lado opuesto.

Europa oriental

Al mismo tiempo, en Yugoslavia, el pintor y diseñador Raoul Goldoni (1919-1983) empezó a realizar esculturas en vidrio con la colaboración de un maestro vidriero en Boris Kidric Glassworks en Rogaska Slatina y más tarde en Murano.

Es en Checoslovaquia donde se produce un trabajo escultórico más intenso y más fructífero en la década de los 40, aunque por desgracia, las dificultades de las dos guerras mundiales y a la situación política de los años siguientes han impedido la difusión de estas obras en Occidente hasta la Exposición Internacional de Artes Decorativas de Milán de 1957.

Los vidrieros checos podían asistir a escuelas de vidrio que desde el siglo XIX los preparaban para todo tipo de trabajos en vidrio: funcional, arquitectónico o escultórico. En 1950, se estableció un centro de diseño en Zelezný Brod Glassworks, que perseguía el desarrollo de nuevos métodos para el vidrio moldeado (técnica que después se conoció en occidente con el término inglés *casting*). En 1952 el Centro de Diseño de la Industria del Vidrio se inauguró en Praga, para actuar como intermediario entre artistas, diseñadores e industria. En ese contexto, los artistas tenían la oportunidad de desarrollar sus propias esculturas con la ayuda de obreros de la fábrica, usando modelos y moldes a tamaño real. Aunque en los centros de diseño y escuelas técnicas se hacían la mayor parte de las esculturas, los artistas solían tallar y grabar en sus propios estudios. De la escultura en vidrio checa me ocuparé más adelante en este mismo capítulo¹¹⁴.

En la Unión Soviética, la artista Vera Y. Mukhina (1883-1953) revivió el interés del vidrio como arte entre los años 30 y 50, cuando ella y el profesor Nikolai Kachalov, un especialista en silicatos, establecieron un laboratorio experimental y centro de investigación para vidrio decorativo en Leningrado. En este estudio, equipado con un horno para fundir vidrio, artistas invitados y artesanos exploraron las cualidades esculturales del vidrio y crearon diseños para la producción industrial. Mukhina misma diseñó objetos funcionales para fábricas, así como una limitada edición de figuras moldeadas creadas en el estudio experimental¹¹⁵.

En el norte de Europa la relación del movimiento artístico con el vidrio se limitaba casi exclusivamente a las técnicas de trabajo en frío: corte, talla, grabado, arenado, esmaltado... La interpretación moderna del grabado artístico se debe a Josef Drahonovsky (1877-1938) y Jaroslav Horejc (1886-1983) en Checoslovaquia, y en Alemania a Wilhelm von Eiff (1890-1943), en la Escuela de Arte de Stuttgart. Los alumnos de von Eiff, Hans Model (1908-1983), Nora Ortlieb (1904-1984) y Mariana Shoder empujaron la antigua técnica hacia una nueva era por medio del modelado, más que decorado, del vidrio con sus profundos cortes¹¹⁶.

¹¹⁴ Véase p. 64.

¹¹⁵ VAUDOUR, C. (1993)

¹¹⁶ FRANTZ, S. K. (1989)

El vidrio en Japón

En Japón, los diseñadores trabajaron en grandes fábricas durante los 50, pero la estrecha colaboración entre artistas y artesanos tuvo lugar en pequeñas empresas, como las de Iwata y Awashima, similares en escala a las italianas.

El grabador Kozo Kagami (1896-1985), fundador de Kagami Crystal, aprendió en Stuttgart con von Eiff entre 1927 y 1928. La combinación de Kagami entre el estilo europeo y las cualidades gráficas del arte japonés constituyó uno de los usos más afortunados de talla y grabado en el vidrio artístico del s. XX. También influido por los europeos fue Sotoichi Koshiba (1909-1973), quien introdujo en Japón en los años 30 la técnica de la pasta de vidrio que había estudiado en Francia. Aunque su trabajo no fue muy conocido por sus contemporáneos, sí fue una referencia durante los años 80, con el “revival” de la pasta de vidrio en Japón.

El vidrio artístico en los Estados Unidos

El inglés Frederick Carder (1863-1963) fundó los talleres Steuben en 1903 en Corning, Nueva York, lugar que, a partir de este momento, emergió como una fuerza dominante en el vidrio internacional. No sólo fue uno de los grandes innovadores en el desarrollo del color en el vidrio y las composiciones, sino que fue también escultor, un diseñador notable y responsable de cada pieza en color manufacturada en Steuben entre 1904 y 1933¹¹⁷.

Durante los años 30, 40 y 50 desarrolló varias técnicas de moldear el vidrio para sus esculturas, mientras trabajaba en un pequeño horno en su estudio. Quizás su hallazgo más importante fue su versión moldeada de antiguas vasijas romanas de tallado diatetra. Carder hizo una interpretación libre de esta técnica, consiguiendo logros destacables mediante la cera perdida.

En 1956, el artista americano Robert Wilson, recibió una beca para hacer una investigación en el Corning Museum of Glass acerca de la historia y fundamentos técnicos del vidrio en el arte, arquitectura y artesanías a lo largo del mundo. A finales de los 50 colaboró con Alfredo Barbini y otros artesanos de Murano haciendo esculturas de vidrio. El diseñador y el artesano juntos, producían las esculturas, y Wilson frecuentemente trabajaba en vidrio.

Wilson llegó a hacer un mensaje oficial para solicitar que se formaran artistas y profesores de vidrio americanos en Murano, para poder establecer una escuela en Estados Unidos.

I.2.3. La escultura en vidrio a partir de los años 50

El vidrio como material artístico se ha desarrollado durante la segunda mitad del siglo XX en dos polos, simultáneamente pero sin ponerse de acuerdo: Checoslovaquia y los Estados Unidos. La primera, en el medio industrial de una

¹¹⁷ VAUDOUR, C. (1993)

sociedad comunista, los segundos en el medio universitario de una juventud americana en ruptura con la sociedad de consumo¹¹⁸.

La escultura en vidrio checoslovaca

En los años 50 se elaboraron las obras que revelaron al mundo la importancia de la escultura checoslovaca. Aparecieron por primera vez en la Exposición internacional de artes decorativas de la XI Trienal de Milán, y la segunda vez en 1958, en la Feria internacional de Bruselas. A estas dos manifestaciones más importantes se sumaba en 1959 la exposición de obras en vidrio de gran formato que se desarrolló en Moscú. En estos tres lugares, las instalaciones llevadas a cabo por los artistas checoslovacos fueron una revelación y suscitaron el asombro por su dimensión arquitectónica, acompañada por una maestría técnica y una libertad de improvisación artística sin precedentes. Era evidente que los checoslovacos iban muy por delante del resto¹¹⁹.

Desde los años 50, los arquitectos checoslovacos comenzaron a pensar que el vidrio era bastante más que el vitral tradicional, y lo incluyeron en proyectos contemporáneos e incluso en ciertas rehabilitaciones de edificios históricos.

El movimiento que defendía que se tomase en cuenta el vidrio como nuevo material para las artes plásticas y la arquitectura, no habría tenido fuerza ni se hubiera extendido de no haber sido canalizado por algunos artistas y profesores de fuertes personalidades. Dos parejas de escultores checoslovacos han marcado profundamente su generación y las de sus estudiantes, así como a sus adeptos en el mundo entero: Stanislav Libensky y Jaroslava Brychtova, por una parte, y René Roubicek y Milus Roubickova, por otra. Estos artistas, que ya eran muy reconocidos en la década de los 50, han influido en la escultura en vidrio durante mucho tiempo, ya que en los años 90 aún continuaban con su actividad artística.

Stanislav Libensky (n.1928) formado como pintor, fue profesor en varias escuelas de vidrio y en la Academia de Bellas Artes de Praga desde 1945. Como enseñante y como escultor, Libensky ha marcado considerablemente tres generaciones sucesivas de artistas¹²⁰.

Por su parte, Jaroslava Brychtova (n. 1924) era escultora y había estado experimentando con moldes desde finales de los años 40. Conocía bien la técnica del *casting* y del fundido de vidrio.

La colaboración artística entre Stanislav Libensky y Jaroslava Brychtova comenzó en 1955, y se representó en la exposición internacional de Bruselas con "Piedras zoomorfas". Esta instalación de muros de hormigón con motivos animales en vidrio, fue el resultado de los experimentos de Brychtova con el modelado del interior de las obras, de modo que sus piezas de *casting*, una vez moldeadas y horneadas, transparentaban las formas internas.

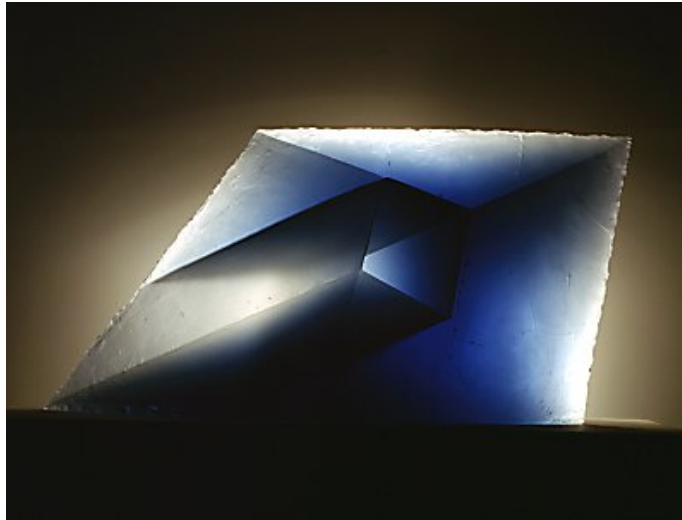
¹¹⁸ VAUDOUR, C. (1993)

¹¹⁹ Ibídem.

¹²⁰ FRANTZ, S. K. (1989)

En 1957, el matrimonio creó “Free form with face”, en vidrio moldeado, a partir de la técnica del modelado del hueco interno, con influencias claras de Modigliani y del cubismo temprano, trasladado al vidrio. En esta pieza, el observador debe mirar dentro de una cabeza alargada donde flotan formas. El juego del ojo entre el exterior reflectante y la luz interna crea también un efecto visual que fácilmente conduce a una interpretación metafórica.

Los Libensky continúan en activo hoy en día, y son considerados dos de los escultores en vidrio más importantes del siglo XX.



Libensky y Brychtova: Spaces III. Década de los 90-

René Roubicek y su mujer Miluse Roubickova-Kytova, como muchos artistas checoslovacos, han producido moldes industriales de artículos de mesa, además de sus esculturas. Bajo el título *Homenaje al vidrio* las grandes composiciones de Roubicek hechas de varillas de hierro y vidrio soplado y moldeado, fueron parte importante del pabellón checoslovaco en la Exposición internacional de Bruselas en 1958, en el que figuraban también las obras de Brychtova y Libensky.

René Roubicek fue galardonado en Bruselas con el Gran Premio y la medalla de oro por “En honor del vidrio”, un collage de elementos de vidrio soplado y moldeado montados en armadura metálica.



René Roubicek: Sin título. Década de los 90.

Algunos años más jóvenes que las parejas Libensky-Brychtova y Roubicek, Roubickova, dos artistas supieron dar al vidrio otra apertura, en una dirección en la que los límites no se han hallado aún: Vladimir Kopecky en el dominio de la pintura en vidrio, y Vaclav Cigler en el campo del vidrio óptico. Si bien su obra es particularmente original, en los años 60 hubo otros artistas como Pavel Hlava, Jirina Zertova, o Dana Vachtova, orientados más hacia el estilo de Libensky, Brychtova y Roubicek.

La experiencia checoslovaca en la que el artista acudía a la fábrica, donde podía acceder a técnicas e instalaciones de gran calidad, se adelantó a otros fenómenos, como los norteamericanos Talleres de Toledo en 1962. Los vidrieros americanos deseaban aislarse del medio industrial que los checoslovacos elegían utilizar. Los checoslovacos no necesitaban construir o financiar pequeños hornos según el proceso del *studio glass* americano. La disponibilidad de equipamientos de grandes dimensiones, unida a la presencia de técnicos, abría posibilidades de obras monumentales, arquitectónicas. Es interesante constatar que esta posición refleja las preocupaciones actuales de los artistas que trabajan el vidrio, es decir, un material realizado en la fábrica para ser integrado a grandes volúmenes, en escultura o en arquitectura.

El *studio glass*

El término "*studio glass*", acuñado en los Estados Unidos, se popularizó en los años cincuenta y sesenta para describir el vidrio trabajado en un estado caliente, generalmente soplado, por un solo artista trabajando en solitario en un estudio en vez de hacerlo en una fábrica. Durante varios años, este término sólo incluyó el vidrio hecho después de marzo del 62, cuando el primer taller de vidrio soplado para artistas se construyó en el Toledo Museum of Art, Ohio. Esta estrecha definición se aplicó a lo que en ese momento se pensaba que era un fenómeno totalmente sin precedentes y exclusivo del ámbito estadounidense. En los años siguientes, ha sido cada vez más claro que, aunque era ciertamente nuevo, el *studio glass* no emergió sólo y autónomamente en América. Por el contrario, estaba relacionado con un amplio contexto de vidrio del siglo XX. El conocimiento de este contexto indica que el término *studio glass* debe ampliarse para describir más ampliamente su evolución¹²¹.

Después de la segunda guerra mundial había en Estados Unidos un clima favorable a la creación artística; por una parte, se vive un apasionamiento por el folklore y la artesanía¹²², y por otra, hay una revitalización de los artesanos, ya que la armada ofrecía cursos de formación en artes y oficios a los ex combatientes, así como becas para formación artística superior¹²³.

El trabajo en vidrio en los Estados Unidos aún no se había separado del ámbito de la fábrica. Los únicos artesanos independientes eran los que trabajaban el vidrio con la técnica de candilón o soplete para crear figuras, pequeñas vasijas o pisapapeles, y algunos artistas que comenzaron a investigar acerca del vidrio

¹²¹ FRANTZ, S. K. (1989)

¹²² VAUDOUR, C. (1993)

¹²³ FRANTZ, S. K. (1989)

utilizando hornos cerámicos en la década de los 50, que trabajaron técnicas de pasta de vidrio, termoformado, esmaltado, y fusión de láminas (*fusing*). Estos experimentos fueron relativamente aislados hasta 1959, año de la exposición *Glass 1959*, en el Museo de Vidrio de Corning, y 1962, año de los Toledo Glass Workshops. Entre estos dos eventos se dibuja una concienciación y una voluntad de los artistas americanos para distinguirse de la industria vidriera organizando talleres independientes, los *studio glass*.¹²⁴

El número creciente de artistas americanos que investigaban individualmente en el vidrio, llevó a Harvey Littleton a proponer los talleres de vidrio de Toledo en 1962. En el Museo de Arte de Toledo organizó en abril de 1962 un simposio de una semana, en el que se trabajó el vidrio en caliente en un horno sencillo de uso individual (cuyo diseño le había proporcionado el artista francés Jean Sala) y de construcción efímera. La reunión tuvo mucho éxito y se repitió algunos meses más tarde¹²⁵.

Desde los talleres-manifiesto de Toledo de 1962, el término *studio glass* ha caído algo en desuso debido a los límites implicados por su definición literal. Ciertas técnicas, como el vitral, el esmaltado, el pisapapeles, el mosaico, etc., practicadas por artistas independientes según la definición del *studio glass*, de hecho se han mantenido aparte de los parámetros del vidrio contemporáneo. Al contrario, la práctica de *studio glass* se ha extendido más tarde, más allá del soplado, a un conjunto de técnicas practicadas en caliente y en frío para el tratamiento de piezas únicas, pero también de edición limitada¹²⁶.

Otras experiencias europeas relacionadas con el *studio glass*

Sin tener conocimiento de lo que sucedía en Estados Unidos, en varios países europeos se estaban llevando a cabo iniciativas de artistas que investigaban las posibilidades expresivas del vidrio como material escultórico.

En Alemania, Erwin Eisch, nacido en una familia de vidrieros pero formado como escultor, trabajaba soplando vidrio en formas totalmente inusuales y transgresoras de las tradicionales. Conoció a Littleton en 1962 y colaboró con él en algunos proyectos escultóricos.

En Holanda, Sybren Valkema, diseñador en la fábrica de vidrio de Leerdam y director de la Gerrit Rietveld Academie, había conocido a Littleton en el World's Crafts Council de 1964. Organizó la primera exposición de vidrio no industrial, con el título *Vrij Glas* (vidrio libre) y presentó las obras de Eisch, Herman, Lipofsky, Littleton y Valkema.

En Francia, dos familias de sopladores toman el relevo de las técnicas derivadas del modernismo: los Monod y los Morin. Los primeros fundaron una fábrica artesanal de vidrio soplado en Biot. Al comienzo de los años 70, Biot se convirtió en el centro de la artesanía francesa del vidrio.

¹²⁴ VAUDOUR, C. (1993)

¹²⁵ FRANTZ, S. K. (1989)

¹²⁶ VAUDOUR, C. (1993)

I.2.4. La escultura en vidrio desde los años 70 del siglo XX

Las siguientes décadas se caracterizan por la “internacionalización del vidrio contemporáneo”¹²⁷. La comunicación a escala internacional se ha hecho algo habitual. En el ámbito de los intercambios, los Estados Unidos fueron los primeros en dirigir las operaciones, seguidos pronto por Checoslovaquia y el conjunto de Europa. Actualmente, Japón, Canadá, y Australia han tomado el relevo de la organización de manifestaciones artísticas de envergadura.

Si los años 60 fueron los de la definición geográfica del vidrio a escala internacional (un período de búsqueda de identidades), los 70 y 80 fueron los de la comunicación y los intercambios. Parece que se borran progresivamente ciertas tipologías geográficas del vidrio artístico en beneficio de la búsqueda de expresiones personales.

Otro punto sensible de la evolución actual es un traspaso de las fronteras tecnológicas. Las búsquedas actuales en el dominio del vidrio, pero también en el del arte contemporáneo, hacen tambalearse la línea divisoria entre el oficio y el arte. Esta evolución tiene como consecuencia la necesidad de instalaciones ampliamente equipadas y accesibles.

Esta situación nueva genera un cambio en las tendencias y un giro en las tradiciones de treinta años de *studio glass*, que hace indispensable el uso de estructuras de apoyo, de formación y de experimentación.

La nueva generación de artistas, al contemplar la obra y las ideas *del studio glass* de los años anteriores consideró a sus protagonistas “artesanos y aficionados satisfechos”. Experimentó una necesidad de romper con las tradiciones del arte vidriero, que habían provocado la dicotomía arte-artesanía en el mundo del vidrio.

Estados Unidos ¹²⁸

El auge experimentado por la escultura en vidrio en Estados Unidos se debe a dos razones: la difusión que recibe este tipo de arte, y las nuevas facilidades para la formación de artistas en vidrio.

Uno de los principales centros de difusión ha sido el Museo Corning de Vidrio. Veinte años después de la exposición *Glass 1959*, el Museo Corning renovó la idea de una retrospectiva internacional. Fue la exposición *New Glass, a Worldwide Survey*, en 1979. En esta muestra, cerca del 90% eran obras creadas por un artista individual, en detrimento de la producción industrial.

Además, el Museo Corning ha potenciado asociaciones de artistas en vidrio y congresos, como los de la Glass Art Society (1976, 1984 y 1991). Publica la revista *Neues Glas / New Glass*, en colaboración con el Kunstmuseum de Düsseldorf.

¹²⁷ VAUDOUR, C. (1993)

¹²⁸ En la descripción del arte en vidrio desde los años 70 a los 90 me basaré sobre todo en la obra de VAUDOUR, C. (1993).

Otros centros de difusión del arte en vidrio son el Museo de Arte de Toledo, en Ohio (organiza bienales), el Leigh Yawkey Woodson Art Museum, de Wisconsin, (que organizó las trienales *Americans in Glass* entre 1979 y 1984), las Huntington Galleries, de Huntington, Virginia occidental (organizaron las *New American Glass: Focus West Virginia*, en 1976 y 1986), y varias galerías que desde los años 70 se especializaron en la promoción y la venta de vidrio contemporáneo, como Habatat Galleries (actualmente también galería virtual en la red: <http://www.habatat.com/>), en Lathrup Village, Michigan, y Heller Gallery, en la ciudad de Nueva York (<http://www.hellergallery.com/>).

Las asociaciones fueron también el apoyo de artistas para la organización de congresos y de publicaciones, como la *Glass Art Society* (GAS), que publica la revista *Glass Art Society Journal*; la *American Craft Council*, que publica la revista *American Craft*.

Los coleccionistas fueron y son todavía los soportes eficaces de los artistas de vidrio. Contrariamente a la mayor parte de los europeos, los americanos consideran un honor mostrar y publicar sus colecciones particulares.

Durante estos años también proliferaron más que en otras partes del mundo los centros de formación y de experimentación. Littleton fue el primero en organizar un programa de formación en técnicas vidrieras de soplado en el medio universitario: abrió un horno en el taller de cerámica de la universidad de Wisconsin. Sus estudiantes se dispersan para abrir en diferentes sitios estudios universitarios en arte del vidrio. Entre ellos destaca Dale Chihuly que, como soplador independiente, estuvo en Italia (en la empresa Venini), antes de ser profesor en la Escuela de Diseño de Rhode Island, en Providence. Hoy es uno de los más afamados artistas en vidrio.

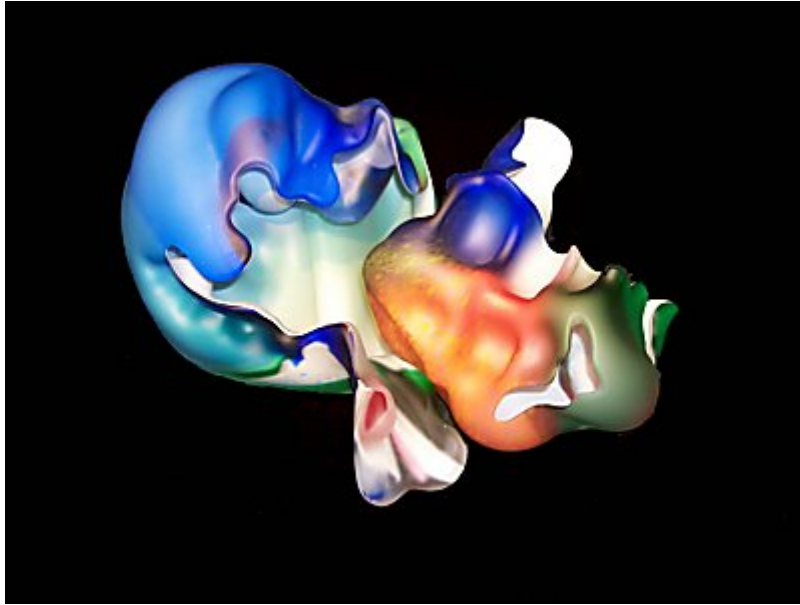
Se debe a Dale Chihuly la fundación y el crecimiento de la Pilchuck Glass Center, pequeña comunidad en el extremo noroeste de los Estados Unidos; esta escuela fue una de las que más impulsó el vidrio desde los años 70 y aún continúa en funcionamiento.

Se fundaron algunos centros experimentales, como New York Experimental Glass Workshop, un sistema asociativo que consistía en un gran taller que los artistas podían alquilar. Este centro edita una revista bimensual, *Glass Magazine*.

Evolución del vidrio norteamericano en los años 70-90.

Estos años se caracterizan por la extensión de los conocimientos técnicos del vidrio, la ampliación de sus aplicaciones artísticas, y la apertura a nuevos materiales combinados en técnicas mixtas.

Las técnicas tradicionales se perfeccionan. El vidrio soplado sigue teniendo sus adeptos, pero se aleja más de sus aplicaciones de recipiente: Marvin Lipofsky realiza así formas vacías modeladas exteriormente con herramientas de madera; otra novedad es la escala increíblemente grande, como la que consigue Dale Chihuly en sus instalaciones.



Marvin Lipofsky. Series IGS VI 1997-99, nº 11.

El trabajo de candilón también se desarrolla. Paul Stankard crea sus jardines botánicos en miniatura, en la tradición de los sulfuros, mientras que Ginny Ruffner crea estructuras barrocas apoyadas en la pintura.

En el vidrio termoformado destaca Mary Schaffer, que crea grandes volúmenes vertidos de vidrio color bronce con aspecto líquido.

En la técnica de la pasta de vidrio en la tradición francesa puede mencionarse a Doug Anderson y a Karla Trinkley.

También en vidrio moldeado (casting) se buscan las grandes dimensiones. Howard Ben Tré aplica al vidrio la tecnología industrial del metal fundido en moldes, Tina Aufiero crea esbozos de máscaras antiguas, Hank Murta Adams aplica esa idea de descomposición a la piel humana...

El vidrio fusionado, pulido y tratado por sus valores ópticos sigue estando de actualidad. En este ámbito, la obra de Tom Patti crea microcosmos ópticos, mientras Michael Taylor, trabaja con vidrio laminado y sobre todo dicroico.

El trabajo en frío se ocupa, por una parte, de los tratamientos de superficie, y por otra, del vidrio plano, además de las técnicas mixtas. Barry Sautner trabaja las técnicas de tallado tradicional con chorro de arena al estilo de los vidrieros diatretas o de los camafeos de la Antigüedad.

El vidrio plano ha sido utilizado sobre todo como vitral (Narcissus Quagliata), o como soporte de pintura.

El vidrio plano industrial puede ser trabajado en frío para formar volúmenes: tallado en pequeños trozos, pintado a pistola o a pincel, mateado al chorro de arena y pegado, como la obra de Jay Musler.

En cuanto a las colocaciones en espacios en función de un entorno, las aplicaciones del vidrio plano y de los módulos industriales a la escultura monumental o la arquitectura son particularmente innovadores y determinan un cierto número de búsquedas actuales (James Carpenter, Marc Mac Donnel, Bruce Chao).

Las técnicas mixtas consisten en asociar al vidrio diferentes materiales. La distanciaci3n que este proceso implica, en relaci3n a los procedimientos monot3cnicos del vidrio artesanal, ha convencido a bastantes escultores contempor3neos. Para algunos de esos escultores, el trabajo del vidrio es un breve pasaje por un itinerario marcado por la exploraci3n de materiales m3ltiples: Linda B. Carpenter, Jon F. Clark, Terry Davidson, Dan Johnson, Rebne Karchefsky, John H. Nickerson, Jack Wax, Sam Weiner, David Willard, Christopher Wilmarth, Timothy Laurin, Mark Kobasz, Maureen Connor, Allison Berger... Para otros, las investigaciones aplicadas al vidrio se inscriben en un contexto sobre todo pict3rico: Robert Kehlmann, Italo Scanga, Therman Statom, James C. Watkins... Otros se interesan por la luz y sus efectos: Richard Spencer Harned, Hans Frode, Jane Kaufman, David J. Kerner, Christian M. Schiess, Dewain Valentine, Paul Seide, Brian Coleman... Desde hace un decenio, el vidrio escapa del medio vidriero para integrarse como cualquier otro material, en el dominio de las artes pl3sticas.

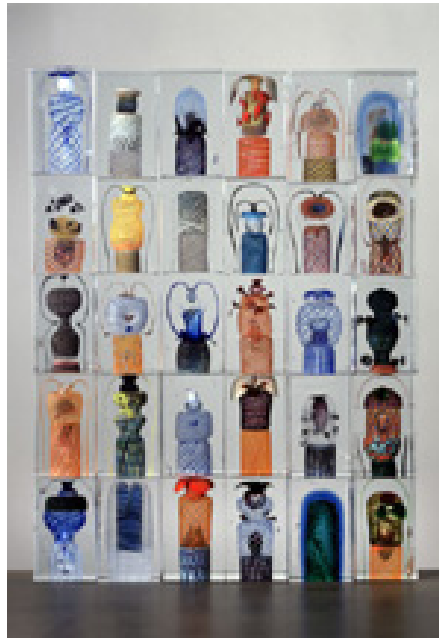
Europa

En los **Países Bajos**, los sopladores de vidrio fueron de los primeros en favorecer al movimiento americano. En Amsterdam Valkema hab3a creado en 1969 la m3s importante de las escuelas de vidrio de Europa Occidental: Gerrit Rietveld Academie.

Los Países Bajos fueron tambi3n una tierra de acogida para numerosos artistas de paso, como los americanos Richard Meitner, Harvey Littleton, Marvin Lipofsky, Myers y Dale Chihuly; el japon3s Kyohei Fujita; los daneses Ann Wolff y Finn Lynggaard; el finland3s Oiva Toikka; el italiano Gianni Toso; el checoslovaco Vaclav Cigler...

Adem3s de Richard Meitner y Mieke Groot, una joven generaci3n de artistas holandeses renueva en los Países Bajos las expresiones del arte del vidrio aplicado a la escultura: Bert Frijns, Bert Van Loo, Sien Van Meurs y Vincent Van Ginneke son los m3s conocidos.

Suecia est3 orientada sobre todo al diseño industrial de piezas de gran calidad, mientras que en **Dinamarca**, al igual que en **Noruega** el inter3s central es la edici3n de tiradas limitadas, concebida por los diseñadores no vidrieros.



Oiva Tokkia, Fairtales in glass.

En **Finlandia** la tradición vidriera tiene tres siglos, pero desde el funcionalismo de los años 20 los vidrieros finlandeses han comenzado a contratar habitualmente a artistas para diseñar sus modelos. Aunque está fuertemente influida por el diseño en vidrio sueco, desde el fin de la Segunda Guerra mundial la creación ha retomado una fuerza sin precedentes. Desde los años 60, las nuevas generaciones han hecho tambalear la elegancia sobria de los decenios anteriores. Oiva Toikka, entre otros, ha expresado una exuberancia en la profusión de las inclusiones y de los colores utilizados¹²⁹.

Gran Bretaña

El Royal College of Art de Londres es el principal centro de formación en diseño. Esta escuela funcionaba en complementariedad con el departamento vidriero de Stourbridge, que aseguraba la formación en diseño o la creación de modelos, y disponía de un horno de vidriero. Sam Herman, un americano, antiguo alumno de Harvey Littleton, construyó en 1967 un horno de taller alrededor del cual dio un curso de formación. Nombrado responsable de la sección de vidrio en este instituto, se quedó en el Royal College hasta 1974.

En Londres, Sam Herman contribuyó a la apertura, en 1969, de *Glasshouse*, un taller independiente. En el seno del taller The Glasshouse surgieron artistas como Annette Meech, Christopher Williams, Fleur Tookey, David Taylor.

La primera conferencia internacional de 1976, que tuvo lugar en Londres, fue un acontecimiento motor; el tema era *Working in hot Glass*, y después de esta conferencia se fundó el sindicato *British Artists in Glass*.

Catherine Hough, Steven Newell y Simon Moore constituyeron, igualmente en Londres, su propio grupo, *Glassworks*.

¹²⁹ VV.AA. (1999).

Stephen Procter ha abandonado el tema tradicional del vaso para trabajar sobre la luz en la escultura. David Reekie y Clifford Rainey produjeron obras internacionalmente reconocidas.

Alemania

Este país continúa en conjunto fuertemente determinado por una antigua y potente tradición vidriera, que influye en la formación y posibilidades de innovación de los artistas. Alemania es además el centro europeo del vitral contemporáneo. En el ámbito de la difusión, Alemania está muy destacada, debido a la importancia de las publicaciones periódicas (la ya mencionada *Neues Glas*), a las ferias y muestras relacionadas con el vidrio contemporáneo, y a exposiciones permanentes (el Kunstmuseum de Düsseldorf, cuyo Departamento de artes decorativas está dirigido por Helmut Ricke y el Museo de vidrio moderno, instalado en la Orangerie del castillo de Rosneau, cerca de Coburg).

Alemania oriental, antigua República Democrática Alemana, se interesó por la edición de series, sobre todo después de la 2ª Guerra Mundial. El contexto económico era todavía artesanal, con la supervivencia notoria del vidrio de candilón en la provincia de Turingia, sobre todo en Lauscha. El vidrio de soplete, para pequeñas formas sopladas, constituye desde siempre una gran parte de la actividad alemana. Dos artistas destacados son Kurt Wallstab y Pavel Molnar.

El avance de Erwin Eisch rompe con esta práctica ancestral, y el centro de experimentación que organiza en Freuenau ha desarrollado cierto número de investigaciones independientes.

Klaus Moje, profesor en Australia desde 1982, e Isgard Moje-Wohlgemuth adaptan las técnicas del vidrio fusing, el primero, y del soplado, el segundo. Jörg Zimmermann graba encajes en las bolas sopladas que trabaja con ácido y arenado.

Francia

La apertura en los años 50 de un taller de vidrio soplado en Biot por Éloi Monod y su familia, y después la construcción del horno de Dieulefit por Claude Morin en los años 70, han creado en este sector de Francia meridional un centro activo del arte vidriero.

Destacan en este país algunos proyectos interesantes en cuanto a la investigación, experimentación y difusión del vidrio artístico.

En 1976 se abre en Sars-Poteries, en el departamento del Norte, el Taller de vidrio, primer espacio abierto a los artistas de fuera para estancias estivales.

En 1982, se creaba el Centro del vidrio del Museo de artes decorativas, abierto al público en 1985, con un centro de documentación, un espacio de exposición y con el objetivos de motivar una nueva generación de artistas del vidrio, orientado a la vez a la historia, la industria y el arte del vidrio.

El CIRVA (Centre International de Recherche sur le Verre et les Arts plastiques), fue creado en 1983 en Aix-en-Provence. Desplazado a Marsella en 1986, este centro se dirige sobre todo a artistas que no manipulan ellos mismos el vidrio. El primer número de los *Cahiers du CIRVA* se publicó en 1987. El abandono por parte del CIRVA del programa de formación en técnicas artísticas de vidrio creó un vacío, parcialmente paliado por ciertas escuelas de bellas artes, como la de Strasbourg.

En 1991 se creó el CERFAV (Centre Européen de Recherches et de Formation aux Arts Verriers) en Vannes-Le-Châtel, relacionado con el Id Verre (Instituto del Vidrio) con el apoyo de las autoridades locales y los ministerios. El CERFAV (<http://www.idverre.net>) ha recibido un gran reconocimiento profesional por la sus actividades de investigación y aprendizaje en el arte del vidrio.

Existen numerosas galerías en Francia que se dedican a la promoción del arte del vidrio, así como algunas revistas (*La revue de la céramique et du verre*).

La práctica del vidrio soplado se ha diversificado también con vidrieros como Alain y Marisa Bégou, Jean-Luc Garcin, Régis y Gisèle Fievet, Olivier Juteau, Jean-Paul Raymond. Anthony Guibé toma de Murano sus filigranas en rejillas, mientras que Michel Bouchard busca la técnica “graal” de la escuela sueca.

Los recipientes no son los únicos productos del vidrio soplado, y Joël Linard, aplica esta técnica a formas a veces figurativas, a personajes.

Otra técnica de vidrio en caliente, el termoformado, es utilizada por Dominique Monod para coladas de vidrio que guardan la conformación de una arquitectura desaparecida, como la lava, o drapeados fluidos realizados a partir de cuadrados de vidrio suspendidos y ablandados en el horno. Rémy Muratore, en sus primeras piezas termoformadas, trabajaba sobre una forma elemental, el cubo, a partir de un material simple, el vidrio de vitrales.

El vidrio colado en arena fue el modo de expresión de Raymond Martinez y de Michel Murlot en el seno del grupo marsellés RIM, hoy disuelto.

La pasta de vidrio está profundamente unida a la tradición vidriera francesa. Antoine y Étienne Leperlier son dos artistas de fama internacional en este ámbito. Antoine crea formas portentosas de memoria, interrogaciones acerca de “la vida después de la vida”; Étienne elabora volúmenes cuya perfección geométrica esta frenada por las transversales, los rincones y las fallas, como sentimiento de eternidad roto por los accidentes y acontecimientos.



Antoine Leperlier: Snail Vase

Erich Schamschula, originario de Checoslovaquia, William Velasquez, Jean-Claude Ourdouillié, Anne Dietrich, Georges y Monique Stahl, practican también la pasta de vidrio.

El vidrio fusing, tal como lo practica Yan Zoritchak, se sitúa técnicamente a medio camino entre el vidrio en caliente y el trabajo en frío. Al calor del horno, el vidrio, que es en realidad un cristal de calidad óptica superior, se ablanda en un molde del que toma la forma.

Jutta Cuny, hasta su muerte en 1983, realizaba esculturas a partir de masas de cristal talladas y pulidas en frío.

La talla al buril y en la masa de vidrio óptico de gran espesor es uno de los avances más espectaculares del vidrio actual. A esta técnica se dedican Czeslaw Zuber, Michel Murlot y Lyane Allibert.

Las asociaciones de materiales trabajados en técnicas mixtas son cada vez más frecuentes en las búsquedas actuales, como testimonian Matei Negreanu, Gérard Koch, Thierry Baudry, y numerosos escultores, algunos de fuera del mundo del vidrio.

La expresión gráfica está siempre presente, sobre todo con el grabado. Jean-Paul Raymond decapa al torno, a la arena y al ácido las superficies del vidrio soplado en varios baños para obtener motivos degradados de colores.

El diseño, o estética industrial, constituye uno de los sectores fuertes del vidrio francés, para la creación de objetos de edición, de mobiliario, de elementos de arquitectura interior.

Las artes plásticas abren un nuevo campo de intervención para el vidrio. Algunos adoptan ese material como soporte de la pintura (Gérard Delafosse,

Véronique Sablery y, recientemente, Monica Damian). Otros encuentran en él un modo de expresión asociándolo con materiales contrastantes (Daniel Pommereulle, Claire Lucas, Frédéric Breck, Pascal Mourgue). El vidrio se puede usar también en su transparencia, y las incidencias de la luz (Haruiko Sunagawa, Jacques Bucholtz, Thibault d'Aucuns, Emmanuel Saulnier).

Italia

Después de siglos de gloria, Italia aprovecha el prestigio de Venecia y de Murano en la escena internacional del vidrio. Surge una importante generación de creadores de los años 70 como Seguso, Vistosi, Toso, Constantini...

Mientras algunos artistas se expresan in situ con una de las artes mayores de este país (Federica Marangoni, Livio Seguso), algunos italianos pasan temporadas prolongadas en el extranjero (Tino Tagliapietra); otros viven fuera de sus fronteras (Renato Santarossa, Paolo Martinuzzi).

La colección Berengo, mostrada en ARCO 2000, constituye un empuje a la escultura en vidrio; Berengo invita a artistas de todo al mundo a trabajar junto a los maestros de Murano, que proporcionan sus conocimientos del vidrio caliente para crear obras innovadoras.

El diseño italiano tiene también su repercusión en el mundo del vidrio. Desde su creación a finales de los años 70, el grupo Memphis, dirigido por Ettore Sottsass se señala como una fuerza nueva en este período.

Algunas artistas que trabajan actualmente en Italia están consiguiendo gran éxito en ciertos ámbitos de creación artística en vidrio, como el fusing y la pintura de luz, en el caso de Miriam di Fiore, o el fusing y la pasta de vidrio, en el caso de Silvia Levenson.



Izquierda: Silvia Levenson, True Ladies Never Cry. Derecha, Miriam di Fiore, In Onore del Faggio.

España

Fue representada durante años por la personalidad de Joaquín Torres Esteban, muerto en 1987, que ha marcado profundamente a la siguiente generación, entre la cual se puede citar a Pedro García y Javier Gómez, interesados como su maestro en la utilización en la escultura del vidrio plano industrial¹³⁰.



Pedro García, 1994: Mar en Pindal

Actualmente, se está tratando de fomentar y apoyar a los artistas en vidrio. Se abren galerías, museos, centros de experimentación como la Fundación del Centro Nacional del Vidrio de La Granja (CNV), en Segovia, en el antiguo edificio de la fábrica de vidrio del siglo XVIII. En 1987 se creó el Centro del Vidrio de Barcelona, que más tarde recibió a artistas de renombre internacional como Egidio Constantini o Stanislav Libensky, y formó igualmente a una nueva generación de técnicos vidrieros, sobre todo del vitral y la talla. En estos talleres barceloneses se ha formado el artista Javier Pérez, que realiza instalaciones y piezas escultóricas utilizando diversas técnicas de trabajo en vidrio, junto con otros materiales. Tanto la Fundación CNV como el Centro del Vidrio de Barcelona sustentan desde principios del 2000 sendas galerías de arte dedicadas a promover la obra en vidrio de artistas consagrados internacionalmente. Actualmente existe un proyecto para crear en el CNV un espacio dedicado especialmente a la obra de jóvenes artistas en vidrio españoles.

¹³⁰ VV.AA. (1997)



Julia Ares, Absurdo. 2000.

Actualmente están desarrollándose artistas en el ámbito de la termofusión, como la coruñesa Julia Ares.

Checoslovaquia

Los últimos años están marcados por la autonomía progresiva de los jóvenes artistas en relación al medio industrial que había constituido su mejor soporte.

Checoslovaquia tiene un lugar determinante en la vanguardia en el desarrollo actual del vidrio contemporáneo. La segunda generación del vidrio en este país corresponde cronológicamente al período de enseñanza de Stanislav Libensky en la Academia de artes aplicadas de Praga.

Se puede agrupar la producción de este país en varias categorías principales, relacionadas con las técnicas empleadas. Por una parte, el vidrio soplado en caliente, donde destacan Pavel Hlava, Jiri Suhajek, Milan Handl (volcado ahora en el trabajo de casting) Dalibor Tichy, Jan Fisar, entre otros.



Milan Handl: An optimistic report on our Planet. 1997.

Por otra parte, sigue utilizándose el vidrio óptico, que crea espectaculares efectos de luz en las variaciones del espesor de la masa de vidrio. En este campo puede mencionarse a artistas como Askold Zacko, Lubomir Arzt, Pavel Tomecko, Yan Zoritchak, Pavel Trnka, Marian Karel.

Un tercer modo de expresión, usando las mismas técnicas de moldeado y de acabado en frío de las superficies pero con objetivos muy diferentes se sitúa en la línea de Stanislav Libensky, y de Jaroslava Brychtova que buscan la difracción interna, y el grano de la superficie, mate o pulido, en formas muy arquitectónicas. Jaromir Rybak, Ales Vasicek, Ivana Sramkova-Solcova, Jaroslav Rona, Ivan Mares, Anna Matouskova-Kopecka, entre otros, investigan en este dominio.

El vidrio pintado es también una de las especialidades checoslovacas más inventiva de hoy. Vladimir Kopecky, Dana Zamecnikova, Gizela Sabokova, Jirina Zertova, Bohumil Elias utilizan este medio.

Continúa trabajándose la técnica de talla en vidrio a la rueda tradicional, aplicada a formas y conceptos artísticos contemporáneos, como en la obra de Jiri Jrakuba.

Las técnicas mixtas ofrecen nuevas posibilidades de expresión a las jóvenes artistas como Dana Vachtova y Eliska Rozatova. Este ámbito ofrece un campo de búsqueda de un vigor excepcional y rico futuro.

Aunque el vidrio está presente en la arquitectura pública, pocas exposiciones han permitido reunir ni siquiera las esculturas transportables.

Los cuatro *Integlassymposiums* o coloquios de Novy Bor, organizados en 1982, 1985, 1988 y 1991 por la vidriería Crystalex y los artistas vidrieros que trabajan allí, ofrecieron posibilidades de encuentros entre personalidades internacionales de orientaciones diferentes (creadores, conservadores de museos, teóricos y responsables de galerías); por desgracia, no han vuelto a celebrarse.

En el Museo de artes aplicadas de Praga (Uměleckoprůmyslové Muzeum) y en la Galería de Moravia en Brno, se muestran colecciones permanentes de vidrio antiguo y contemporáneo.

Hungría

Desde 1970, Hungría formó una primera generación de artistas de vidrio, con la sección de vidrio y de diseño del Instituto de artes aplicadas de Budapest, bajo la dirección del maestro Gyorgy Gaes. Actualmente María Lugossy, es una artista célebre en Hungría. Utiliza el vidrio óptico laminado.



Maria Lugossi, Valley.

Japón

La fuerte expansión del vidrio contemporáneo en el japon en el transcurso de los años 70 y 80 no tiene un sustrato cultural antiguo. Al contrario que la cerámica, el trabajo con vidrio no tiene tradición.

En 1978, la octava conferencia de la asociación internacional World Crafts Council se desarrolló en Kyoto, despertando un repentino interés de los japoneses que previamente habían fundado en 1972 su propia Glass Art Crafts Association, bajo la presidencia de Hisatoshi Iwata. En 1982 se abrió en el Museo de Arte Moderno de Hokkaido en Sapporo la primera de las prestigiosas exposiciones internacionales *World Glass Now*. En Kanazawa se presentó *The International Exhibition of Glass Craft '88*, seguida en 1990 de una segunda manifestación, *The International Exhibition of Glass Kanazawa '90*.

Este movimiento favoreció la apertura de talleres. Desde mediados de los años 80, más de una treintena de hornos de taller funcionan en este país. En términos de formación, la Universidad de Arte Tama abrió en 1977 una sección de vidrio. Actualmente, el Tokio Glass Art Institute, fundado en 1981, recibe regularmente más de cincuenta estudiantes y otros tantos post-diplomados.

Entre los artistas más reputados están Sinichi y Kimiake Higuchi, que trabajan la pasta de vidrio, y Toshio Iezumi que trabaja el vidrio laminado.



Izquierda: Kimiaki Higuchi, Ciclamen.
Derecha: Sinichi Higuchi, Torso 5.



Australia y Nueva Zelanda

Las bases del vidrio contemporáneo en Australia meridional fueron puestas en los años 70, con la elaboración de un programa gubernamental de promoción de las artes y el artesanado. Por invitación del gobierno australiano, vinieron artistas de Estados Unidos, Gran Bretaña y Alemania federal.

Sam Herman instaló en 1974 un taller en una vieja fábrica de confitura que dio su título a *Adelaide Jam Factory Craft Center*. Más recientemente, se ha implantado un programa de formación en Canberra, dirigido por Klaus Moje.



Klaus Moje, Mijima 6-7.

El Museo de arte de la ciudad de Wagga-Wagga tiene la mayor colección de vidrio australiano, y organizó en 1982 la primera exposición *International Directions in Glass Art*.

En este medio han surgido fuertes personalidades, como Brian Hirst en vidrio soplado, Robert Knottennbelt, alumno de Sam Herman, que practica la talla al láser, y Warren Langley, habituado al termoformado y al vidrio fusing, que enseña y expone en numerosos centros extranjeros.

Canadá

En 1968 el ceramista americano Robert Held inscribía la primera formación en vidrio en el programa universitario de Sheridan College School of Crafts and Design, situada cerca de Toronto, donde se enseñan nuevas técnicas de vidrio caliente y frío.

El centro de los oficios del vidrio de Québec se instaló en Montreal bajo la dirección de François Houdé que comenzó en 1987 en l'Éspace du Verre una formación asistida por Laura Donefer, Susan Edgerley, Irene Frolic, Lisette Lemieux y Donald Robertson, orientados hacia la escultura.

En Toronto, el Ontario Crafts Council puso a disposición del público un centro de documentación, de información y de exposiciones orientado al artesanado.

México

Desde hace algunos años la escultura en vidrio en este país ha ido cobrando importancia. El Museo de Vidrio de Monterrey expone una colección permanente de obras en vidrio, y organiza algunas exposiciones temporales.

Una de las artistas mexicanas en vidrio más conocida internacionalmente es Ana Thiel.



Ana Thiel: Sombra mea. 2000.

noroeste del Imperio Romano el uso de potasa como fundente, obtenida de cenizas de helechos y hayas. Este vidrio tenía impurezas y una fuerte coloración verde, y era llamado “vidrio de helechos”. Los vidrieros podían obtener esos materiales en sus viajes, y los bosques eran más extensos que hoy. Los centros vidrieros se establecieron próximos a las zonas boscosas (Bohemia, Alemania) donde era fácil obtener tanto el combustible como las cenizas necesarias para añadir potasa. Después del s. X, el vidrio potásico fue característico de Europa Central, mientras que el vidrio sódico continuó haciéndose en las regiones costeras. Desde los siglos XII y XIII la industria vidriera del norte de Europa se empieza a liberar de la tutela de la Iglesia; las vidrierías que se instalaban en las inmediaciones de los monasterios se empiezan a convertir en vidrierías ambulantes en el corazón de los bosques⁴⁸.

El vidrio fabricado por los artesanos de esta época, llamada “Waldglas” (vidrio de bosque)⁴⁹ era una continuación del último vidrio romano, ya que tenía composición, color y formas semejantes a las romanas, aunque menos variadas y decoradas.

Son característicos de esta época unos vasos germanos llamados *Kuttrolf* (palabra derivada de la latina *gutta*, que en época romana daba nombre a un tipo de vasija), *Angster* y *Maigelein*⁵⁰, que servían para beber, y cuencos libatorios decorados con cabujones (porciones de vidrio más o menos esféricas) que ya se utilizaban en la época tardorromana⁵¹.



Derecha: *kuttrolf*, hacia 1650.

Izquierda: vaso con aplicación de gotas de vidrio, trabajado a pinzas, Alemania, primera mitad del s. XIV.

⁴⁸ DRAHOTOVÁ, O. (1990), p. 29.

⁴⁹ FERNÁNDEZ NAVARRO (1991), p. 21.

⁵⁰ DRAHOTOVÁ, O. (1990), p. 30-31.

⁵¹ FERNÁNDEZ NAVARRO (1991), p. 24.

I. 3. EL VIDRIO COMO MATERIAL

Características físico-químicas.

I.3.1. Definición de vidrio.

La palabra castellana *vidrio* deriva del término *vitrum* en latín; también de ahí proceden el francés *verre* y el italiano *vitro*. En las lenguas germánicas hay también un origen común para *glass* (inglés) y *Glas* (alemán), aunque la etimología no está clara (podría ser *glacies*, hielo, del que derivó también *glace* – en francés, espejo -, o tal vez *glassum*, ámbar). La palabra griega *krystallos*, sin embargo, dio lugar en castellano (y en otras lenguas) al término cristal¹³¹.

Resulta engañosa la palabra cristal que en el habla corriente utilizamos como sinónimo de vidrio; entre los vidrieros, la palabra cristal alude a un tipo concreto de vidrio con características específicas de composición y transmisión de la luz. Por otra parte, en química se considera cristal o sólido cristalino a una sustancia sólida con una estructura interna de periodicidad ordenada en tres dimensiones. El vidrio no pertenece a esta categoría, y para distinguirlo de aquéllos es denominado *sólido no cristalino*¹³².

Los vidrios tienen una apariencia sólida debido a su rigidez mecánica; sin embargo su desorden estructural les hace asemejarse a los líquidos. La dificultad para encuadrar a los vidrios en uno de los tres estados de agregación de la materia dio lugar a que se pensara en separar a los vidrios, englobándolos dentro de un cuarto estado: *el estado vítreo*¹³³. Sin embargo, esta idea no ha sido comúnmente aceptada.

Las peculiaridades del vidrio no permiten enunciar con rigor una sola definición basada en conceptos físicos y estructurales. El vidrio puede definirse de varias formas; cada una de ellas hace hincapié en un aspecto concreto de esta materia. *Se le denomina vidrio a un producto de fusión de materiales inorgánicos ópticamente transparente que se ha enfriado a un estado rígido sin cristalizar.*¹³⁴

En ocasiones es definido como un *líquido rígido*¹³⁵; a la temperatura ambiente los vidrios son tan viscosos que su fluidez sólo puede medirse con experimentos, pero poseen la estructura y propiedades de un líquido.

¹³¹ FERNÁNDEZ NAVARRO (1991), p. 51.

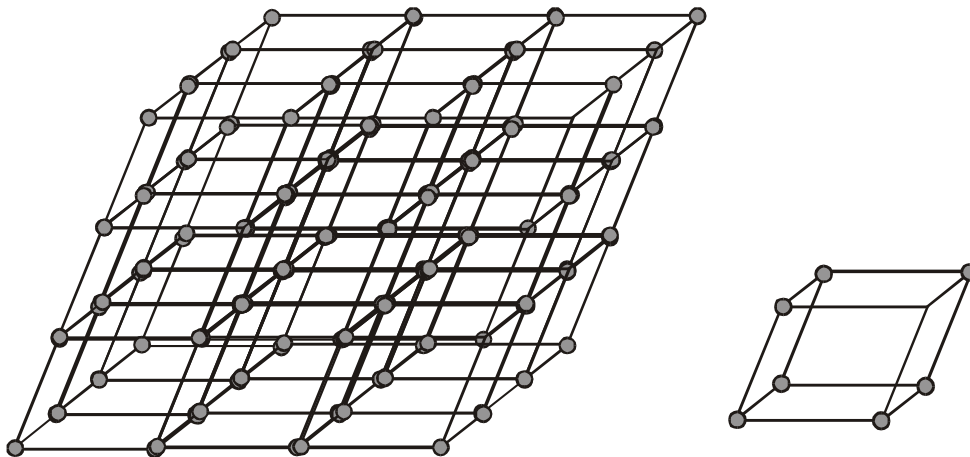
¹³² FERNÁNDEZ NAVARRO (1991) prefiere esta denominación por considerarla más adecuada que la de *sólidos amorfos*.

¹³³ FERNÁNDEZ NAVARRO (1991), p. 47.

¹³⁴ CHANG, R. (1999), p. 441.

¹³⁵ DE LA CAMPA DEL ROSAL, O. (1988).

Durante el proceso de enfriamiento y solidificación, ciertas sustancias forman sólidos que tienen una estructura geométrica repetida; son llamadas “sólidos cristalinos”. Por ejemplo, el hielo es un sólido cristalino que posee un ordenamiento estricto y de gran alcance, es decir, sus átomos, moléculas o iones ocupan posiciones específicas¹³⁶. Sin embargo, los vidrios se consideran *sólidos amorfos, por carecer de un ordenamiento bien definido y de un orden molecular de largo alcance*¹³⁷. El vidrio no tiene un punto concreto y fijo de solidificación (como lo tiene, por ejemplo, el agua al congelarse), sino que el incremento de viscosidad es un proceso continuo desde el líquido a elevada temperatura hasta el vidrio rígido a temperatura ambiente.



Derecha, una “celda unitaria”, unidad estructural repetida de un sólido cristalino. Izquierda, estructura de un sólido cristalino en tres dimensiones, formada por la extensión de celdas unitarias. Cada esfera representa un átomo, un ión o una molécula, y se denomina punto reticular¹³⁸.

Prueba del estado líquido del vidrio sólido es la deformación que algunas vasijas antiguas sufren con el paso de los siglos: el vidrio continua siendo fluido, aunque fluya muy lentamente.

Los sólidos en forma cristalina son más estables. Pero si un sólido se constituye con rapidez mediante un veloz enfriamiento desde el estado líquido, los átomos o moléculas no tienen tiempo de organizarse por sí mismos, y pueden quedar en posiciones que no son tan regulares como en la forma cristalina. A estos sólidos se les llama *amorfos*, y se caracterizan por carecer de una distribución regular de sus átomos¹³⁹. Algunas definiciones de vidrio lo consideran un *sólido amorfo*, aludiendo a que su estructura no tiene la ordenación periódica de los sólidos cristalinos, si bien un vidrio ordinario a la temperatura ambiente puede poseer un cierto orden. El vidrio al enfriarse se mantiene como un líquido con gran viscosidad, convirtiéndose en *líquido subenfriado*. Una sustancia se congela en estado vítreo a causa del progresivo

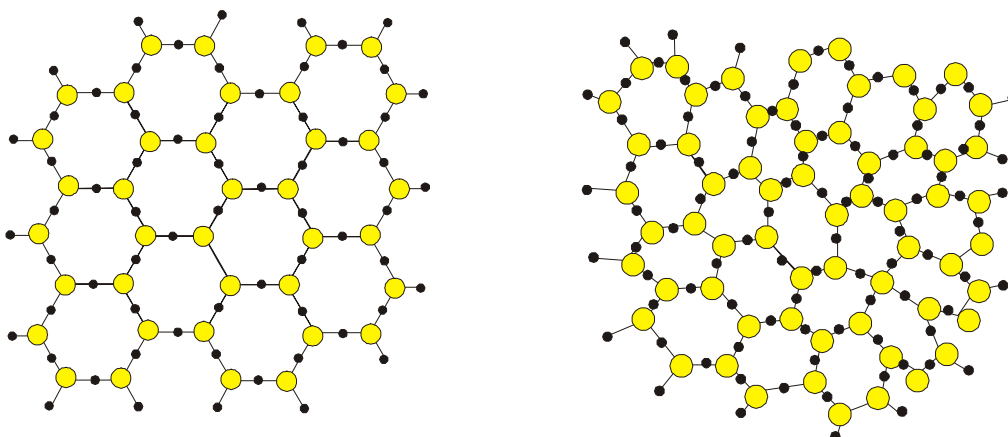
¹³⁶ CHANG, R. (1999): *Química*. McGraw Hill, México, p. 428.

¹³⁷ Ibidem.

¹³⁸ Ilustración basada en CHANG, R. (1999), p. 429

¹³⁹ CHANG, R. (1999), p. 441.

aumento de la viscosidad que se produce durante el enfriamiento, que impide la agrupación ordenada de sus átomos para formar una red cristalina¹⁴⁰.



Representación esquemática (plana) de un retículo de sílice (SiO_2), a la izquierda, y de uno de vidrio (sílice vítrea), a la derecha. Basado en FERNÁNDEZ NAVARRO (1991), pag. 65. El círculo amarillo representa el átomo de oxígeno, y el negro el de sílice.

FERNÁNDEZ NAVARRO (1991), considera que los vidrios tienen ciertas particularidades. La primera es la de carecer de un verdadero punto de fusión o temperatura de *liquidus* que sólo presentan los sólidos cristalinos. Los cuerpos vítreos pasan de un modo reversible y continuo de su forma fundida en estado líquido al estado rígido o congelado.

Otra de las particularidades propias de los vidrios es la isotropía; los vidrios tienen las mismas propiedades independientemente de la dirección en que se consideren. La isotropía sólo se da entre los sólidos cristalinos como excepción. A consecuencia de la isotropía, los vidrios son también monorrefringentes¹⁴¹.

I.3.2. Composición de los vidrios.

Los vidrios y las materias vítreas están compuestas por cuatro grupos principales de materias primas: los elementos vitrificables, los elementos fundentes, los elementos estabilizadores, y los elementos accesorios, como afinantes, colorantes y decolorantes¹⁴².

En la estructura del vidrio, los elementos vitrificables son los que forman la red; los fundentes, la modifican (debilitan las uniones entre moléculas), y los estabilizantes pueden tanto formar red como modificarla. Estos tres tipos de elementos son fundamentales para formar un vidrio. Respecto a los elementos accesorios, se incorporan en proporciones muy pequeñas a la mezcla, y su intervención no es esencial para formar el vidrio.

¹⁴⁰ FERNÁNDEZ NAVARRO (1991), p. 49.

¹⁴¹ Tanto la isotropía como la monorrefringencia son aspectos relacionados con el vidrio que se analizarán más adelante en este mismo capítulo, al hablar del polariscopio como instrumento para detectar tensiones internas en el vidrio.

¹⁴² FERNÁNDEZ NAVARRO (1991), p. 127

Entre las materias vitrificantes la más importante es la sílice, que suele representar las dos terceras partes de la composición de los vidrios industriales. Se incorpora a la mezcla en forma de arenas o cuarzos. El anhídrido bórico no se emplea nunca como vitrificante único, sino mezclado con sílice para producir vidrios especiales (para laboratorio y termorresistentes). Estas materias dan al vidrio dureza y apariencia transparente.

Las materias fundentes se emplean para hacer descender la temperatura de fusión del vidrio. Para ello, modifican la red estructural. Los más efectivos son óxidos alcalinos. Si la cantidad de las materias fundentes es excesiva, se produce una disminución de la cohesión del retículo, y un empeoramiento de las propiedades del vidrio. Una de las materias más empleada como fundente es el sodio, generalmente bajo la forma de carbonato sódico o sosa. El cloruro sódico no puede utilizarse debido a que desprende gases clorhídricos muy peligrosos. Otro fundente muy empleado es el potasio; en la Antigüedad se conseguía con cenizas procedentes de algunas plantas y maderas. Actualmente se utiliza bajo la forma de carbonato potásico. La palabra *alcalino* deriva precisamente de la industria vidriera. “Los vidrieros importaban de Egipto la ceniza de una cierta planta llamada Al Kali, que brota en Egipto y Malta al borde del mar; por ebullición, evaporación y decantación se obtenía una sal de color azul celeste y llena de acrimonia”.¹⁴³

Si nos limitamos a añadir a la arena unos óxidos básicos, ya sean sódicos o potásicos, se obtiene un vidrio soluble bajo la acción del agua. Para evitar esto, es necesario usar ciertas tierras, como las piedras calcáreas, o ciertos metales como el plomo, que pertenecen al tercer grupo de componentes del vidrio.

El tercer grupo de componentes es el de las materias estabilizantes. Son también óxidos básicos como los derivados del óxido de calcio (piedra caliza, carbonato de cal) que tienen además propiedades fundentes; del plomo (minio, también tiene propiedades fundentes y otorga al vidrio un alto índice de refracción y brillo), del zinc (óxido de zinc); del óxido de aluminio (que aumenta la resistencia mecánica del vidrio y lo hace más resistente a los choques térmicos; suele incorporarse al vidrio en forma de feldespato), del magnesio (carbonato de magnesio, dolomita), o del bario (carbonato de bario). Estas materias dan al vidrio cohesión y resistencia, y evitan que sea una materia soluble y fácilmente atacable por ácidos o agua.

Los elementos alcalinos del vidrio se resienten con el paso de los años del ataque de la humedad y del ácido carbónico del aire, creando una especie de empañamiento o nube en su superficie, en forma de iridiscencias.

El vidrio en fusión puede tener una apariencia “picada” o llena de burbujas, como consecuencia de la acción que ejercen los gases producidos por la descomposición de las distintas materias componentes del vidrio; para evitarlo, se utilizan ciertos elementos de afinaje, como los nitratos de sosa, potasa, bario o amonio, los óxidos arseniosos y de antimonio, y los cloratos de potasa y sodio.

¹⁴³ GATEAU, C.H. (1980), p.17.

En el último grupo se incluyen las materias colorantes, decolorantes y opalescentes. Entre las primeras se halla el manganeso (en forma de óxido o bióxido), el óxido de selenio, el de cobalto y el de níquel. Se suelen utilizar en distintas combinaciones y proporciones.

Como materias colorantes suelen emplearse óxidos y sulfuros metálicos, como el óxido de antimonio, el de cobalto, el de cobre, el de cromo, el de hierro, el de manganeso, el de níquel, el cloruro de oro, el nitrato de plata, el óxido de uranio, la selenita, el azufre, el sulfuro de cadmio, el carbono... Se emplean en distintas proporciones y mezclas para obtener diversos colores. Así, para conseguir verde se emplean óxido de cobre y de hierro; para el amarillo, el nitrato de plata, para el azul, óxidos de cobre y cobalto; para el rosa, selenio; para el rojo rubí selenita de sosa y sulfuro de cadmio, o bien cloruro de oro¹⁴⁴.. El color resultante final depende también de los demás componentes del vidrio.

Las materias opalescentes¹⁴⁵, como el espato de flúor, el feldespató, el fosfato de cal, o el cloruro y óxido de estaño, reúnen en algunos casos cualidades de vitrificación, fundentes y de afinaje además de la opalización.

Los resultados de estos tipos de componentes son vidrios de base sódica (óxido de silicio, cal y sosa, principalmente), de base potásica (óxido de silicio, cal y potasa), y el vidrio de plomo, también llamado cristal (óxido de silicio, óxido de plomo, potasa). Los dos primeros tipos de vidrio se han empleado desde la Antigüedad, mientras el último se empezó a usar en Inglaterra en 1675.

En la actualidad existen cerca de 800 tipos de vidrios y materias vítreas¹⁴⁶.

I.3.3. Propiedades de los vidrios

Las propiedades de los vidrios dependen de sus características estructurales y, por tanto, de cuestiones como composición y temperatura. De sus propiedades sólo me detendré en aquellas que tienen una mayor importancia para el trabajo artístico con vidrio.

Viscosidad

*Por viscosidad de un fluido se entiende el rozamiento interno o la resistencia al deslizamiento que existe entre sus moléculas.*¹⁴⁷ En el caso de los gases ideales, se supone que la movilidad de las moléculas es absoluta; cuando se trata de líquidos hay siempre un cierto grado de viscosidad que es característica de cada uno. La unidad de viscosidad empleada es el Pascal por segundo (Pa s) o su submúltiplo, el dPa s.

¹⁴⁴ ENÉRIZ BOZAL, C.(1948), p. 94 y sgtes.

¹⁴⁵ El vidrio opal u opalina es vidrio opaco y coloreado. ESCÁRZAGA, A. (1994), p. 171.

¹⁴⁶ CHANG, R. (1999), p. 428.

¹⁴⁷ FERNÁNDEZ NAVARRO (1991), p. 337. El resto de medidas de la viscosidad también se han tomado de ese autor.

Los vidrios sufren cambios de viscosidad en función de la temperatura a la que se encuentren. Existen una serie de puntos de viscosidad fijos (la viscosidad es la misma independientemente del tipo de vidrio o la temperatura a la que se alcance ese estado):

- Punto inferior de recocido (*strain point*) y superior de recocido (*annealing point*). Entre ambos se encuentra el intervalo de temperaturas en el que un vidrio, al enfriarse, pasa del estado plástico al estado rígido. Es necesario conocer cuál es la temperatura en la que cada vidrio concreto alcanza estos puntos de viscosidad¹⁴⁸ para poder calcular adecuadamente la velocidad de enfriamiento. La viscosidad correspondiente al punto inferior de recocido es $10^{14,5}$ dPa s, y la del punto superior 10^{13} dPa s.
- Punto de reblandecimiento. Cuando calentamos un fragmento de vidrio progresivamente, se va volviendo cada vez más fluido. Cuando llega al punto de reblandecimiento, el vidrio, antes rígido, comienza a ablandarse y puede deformarse por efecto de la gravedad cuando está suspendido. Le corresponde una viscosidad de $10^{7,6}$ dPa s.
- Punto de conformación. El vidrio adquiere la viscosidad adecuada para trabajar con él (por ejemplo, en el soplado a boca o los procesos industriales), y para llegar a los procesos de fusión en relieve y fusión total que se describirán entre las técnicas de creación artística tratadas en esta tesis. La viscosidad de este punto es 10^4 dPa s.
- Punto de liquidus. El vidrio tiene una gran fluidez, lo que facilita ciertos procesos en los que debe escurrir sobre un molde, como el de *drop casting* descrito en el capítulo de esta tesis *Creaciones escultóricas con las técnicas de casting y pasta de vidrio*. La viscosidad asignada a este punto es 10^2 dPa s.

Tensión superficial

En los líquidos, las moléculas situadas en la superficie están sometidas a fuerzas de cohesión dirigidas hacia el interior del líquido; esto determina que la superficie de un líquido se comporte como una membrana tensa que intenta distribuirse en la menor superficie posible. Por esta razón las porciones libres de líquido adoptan la forma de gotas esféricas, ya que la esfera es la forma geométrica de menor superficie.

Los vidrios tienen una gran tensión superficial, mucho más elevada que la de la mayoría de los líquidos, aunque menor que la de los metales fundidos. La tensión superficial de los vidrios influye en los procesos de fusión y homogeneización de las mezclas vítreas y en la adherencia de los recubrimientos vítreos a un soporte. En el caso de las técnicas de creación artística que describo en esta tesis, la tensión superficial influye en la conformación de las obras de *fusing*, donde se trabaja calentando láminas de vidrio colocadas sobre superficies horizontales. La gota de vidrio ideal tiene un diámetro de 6mm, ya que este es el grosor que equilibra la tensión superficial;

¹⁴⁸ Algunos procedimientos para calcular estos puntos vienen descritos en el capítulo de esta tesis *Utilización del horno cerámico. Pruebas previas*.

cuando se funden láminas de vidrio de grosor inferior a 6 mm, en estado fluido su superficie encogerá para alcanzar ese grosor ideal (sobre todo en los bordes de la obra); si la pieza tiene 6 mm, su forma y grosor permanecerán estables y, si es más gruesa, se deformará y extenderá superficialmente tratando de alcanzar ese grosor.

Densidad

Es la cantidad de masa contenida en la unidad de volumen. La mayoría de los vidrios comunes de composición silícea sodocálcica, tienen una densidad aproximada de $2,5 \text{ g cm}^3$. Algunos vidrios de borosilicato tienen una densidad menor (cerca de 2 g cm^3), mientras que los vidrios de plomo o cristal oscilan entre los 3 g cm^3 y los 6 g cm^3 . Es importante conocer la densidad del vidrio en algunas de las técnicas que se describen en esta tesis, como el casting o la pasta de vidrio, para poder calcular la cantidad de vidrio necesario para llenar un molde, averiguando el volumen del interior de éste y multiplicándolo por el peso específico del vidrio.

Dilatación térmica

La mayoría de los materiales experimenta una dilatación como consecuencia de la aplicación de calor. Pero no todos los materiales se dilatan y contraen a la misma velocidad y en la misma medida. Esta viene determinada por el coeficiente de dilatación o de expansión térmica, cuya unidad de medida es el K^{-1} .

En los vidrios el coeficiente de expansión viene determinado principalmente por la composición. Varía en cada tipo de vidrio. Es fundamental conocer esta medida en los vidrios con los que se trabaja, pues determina la compatibilidad o incompatibilidad entre ellos.

I.3.4. Fases en la elaboración del vidrio¹⁴⁹

Si consideramos todo el proceso de elaboración del vidrio, desde que se introducen en el horno las materias primas hasta que el producto terminado sale del arca de recocido, podemos distinguir las siguientes fases¹⁵⁰:

- Fase de fusión (sería más correcto llamarla de fundición o vitrificación). Comprende cuatro etapas en las que el vidrio permanece dentro del crisol. El aumento hasta la temperatura máxima (unos 1550°C) sirve para que las materias primas reaccionen entre sí y se disuelvan, para pasar después a un proceso de afinado y homogeneización.
- Conformación de las piezas de vidrio.
- Enfriamiento y recocido.

La primera etapa de la fase de fusión es la *reacción de los componentes y formación del vidrio*. Al elevar la temperatura, la mezcla vitrificable experimenta transformaciones y reacciones químicas que la convierten en una masa vítrea.

¹⁴⁹ Este proceso de elaboración está referido al trabajo con vidrio caliente en masa; otras técnicas que se abordan en esta tesis, como las de termofusión (*fusing*, termoformado, etc.) y las de pasta de vidrio no siguen este patrón, pues no se trabaja en ellas con materia prima sino con vidrios ya conformados, cuya forma se modifica mediante el calor.

¹⁵⁰ FERNÁNDEZ NAVARRO (1991), pags. 148 y sgtes.

En una segunda etapa, se produce la *disolución del excedente de sílice*; aunque ya existe una masa vítrea, parte de la sílice aún no se ha disuelto en ella. Esto comienza a suceder alrededor de los 1250°C. Al fundirse en el vidrio, la sílice provoca la formación de numerosas burbujas, producidas por el aumento de acidez del fundido.

Durante la tercera etapa, *afinado y homogeneización del vidrio*, se conseguirá que la composición (y por tanto la viscosidad) sea semejante en todas las zonas de la masa, y se eliminarán los gases disueltos y ocluidos en la masa vítrea. Estos gases se deben a humedad y aire atrapados entre las materias primas, y a la descomposición de éstas liberando gases, como oxígeno o anhídrido carbónico. Los procedimientos de afinado pueden ser químicos (añadir algún compuesto que, a altas temperaturas, desprenda burbujas de gas gruesas que asciendan rápidamente a la superficie arrastrando con ellas otras más pequeñas y más difíciles de eliminar), o físicos (calentamiento brusco del vidrio, que provoca su desgasificación al provocar diferencias de presión, a la vez que el aumento de la fluidez favorece el ascenso de las burbujas).

La cuarta etapa, *de reposo y acondicionamiento térmico*, tiene la finalidad de hacer descender la temperatura del vidrio gradual y homogéneamente hasta la de conformación, que suele estar unos 300°C por debajo de la de fusión.

La fase de conformación y moldeado del vidrio se produce en un intervalo térmico en el que el vidrio se mantiene en un estado plástico-viscoso. Los procedimientos de conformación son varios, como el soplado, colado, estirado, laminado o prensado.

Se distinguen¹⁵¹ algunas categorías principales de productos:

- Vidrio hueco, creado sobre todo mediante soplado, ya sea éste a boca o mecánico.
- Vidrio plano, que ha sido conformado en láminas. Los procedimientos para hacer vidrio plano son muy variados, desde el soplado a boca, hasta los modernos procesos de flotado continuo. Se hablará de ellos más adelante en esta tesis, en el capítulo “*Distintos tipos de vidrio para las técnicas de fusión. Utilización de vidrios coloreados*”.
- Varilla y tubo de vidrio, ya sea manualmente, mediante estirado horizontal, o con diversos procedimientos industriales.

La última fase, que tendrá una importancia especial en las técnicas de creación escultórica con vidrio descritas en esta tesis, se tratará en el epígrafe siguiente.

I.3.5. Recocido y enfriamiento del vidrio.

Este es uno de los momentos más delicados en el trabajo con vidrio. Se debe pasar de un estado plástico a otro rígido, con la velocidad adecuada para que las uniones entre las partículas de vidrio se relajen suficientemente y no aparezcan tensiones durante el proceso de contracción. Cuando la velocidad es demasiado rápida, se producen tensiones que pueden llegar a provocar la rotura de la pieza de vidrio.

¹⁵¹ Según FERNÁNDEZ NAVARRO (1991), pags. 214-242.

A partir de la temperatura de reblandecimiento del vidrio¹⁵², y dentro del intervalo de relajación, hay que enfriar el vidrio lentamente. La razón es esta: el vidrio es un material que conduce mal el calor; por esta razón, al enfriarse, la zona interna está más caliente que la externa; ésta se contrae y se vuelve rígida antes que la interna, impidiendo que se contraiga en la medida y posición en que debería por su temperatura; de este modo se producen tensiones permanentes en la estructura del vidrio.

La temperatura adecuada para que se produzca la relajación de las tensiones de un vidrio depende de su composición. Hay materias primas que hacen descender esa temperatura, mientras que otras la elevan. En cuanto a la velocidad adecuada de enfriamiento, en general dependerá del grosor del vidrio, y se calculará a partir de la fórmula: $v=f/e^2$, donde v es velocidad (en grados centígrados por minuto), e es el grosor del vidrio en cm, y f es un factor que depende de las características específicas del vidrio; en la práctica se ha comprobado que puede hacerse equivalente a 1,3 para la mayoría de los usos¹⁵³. Cuanto más grueso es un vidrio, más lenta debe ser la velocidad de enfriamiento.

Generalmente se calcula una curva de recocido, que es la descrita por dos ejes, x e y , siendo uno de ellos la temperatura y el otro el tiempo. La finalidad de este cálculo es enfriar el vidrio a una velocidad tal que se reduzcan las tensiones en el menor tiempo posible. Para conseguir mejores resultados se divide la etapa de enfriamiento en tres partes:

1. Etapa de estabilización térmica, en la que el vidrio se mantiene durante cierto tiempo a una temperatura próxima al punto superior de recocido; sirve para relajar tensiones.
2. Etapa de enfriamiento lento hasta un punto cercano al inferior de recocido, para evitar la creación de nuevas tensiones.
3. Enfriamiento relativamente rápido hasta la temperatura ambiente.

Para el cálculo de estas curvas se aplican distintas fórmulas; uno de los procedimientos más conocidos es el de Corning¹⁵⁴.

I.3.6. Defectos en el vidrio. La desvitrificación

Aunque la lista de los defectos que pueden aparecer en la fabricación del vidrio es muy amplia¹⁵⁵, sólo me detendré en aquél que puede influir más en el trabajo con las técnicas artísticas sobre las que trata la parte experimental de esta tesis: la desvitrificación.

¹⁵² Tanto la temperatura de reblandecimiento como el intervalo de relajación o de recocido se han explicado más atrás en este mismo capítulo, en el epígrafe acerca de los puntos críticos de viscosidad.

¹⁵³ FERNÁNDEZ NAVARRO (1991), p. 249.

¹⁵⁴ Las tablas incluidas en STONE, G. (2000): *Firing Schedules for Glass*, están calculadas utilizando este procedimiento en combinación con otros. Muchas curvas de recocido aplicadas en la parte experimental de esta tesis se basan en este libro.

¹⁵⁵ Véase FERNÁNDEZ NAVARRO (1991), p. 259-330.

Las desvitrificaciones son *inclusiones sólidas nacidas en el seno de la masa vítrea por cristalización de uno o más de sus componentes*. Suelen tener la apariencia de una película blanquecina, semiopaca y mate en la superficie del vidrio.

Hay riesgo de desvitrificación en las siguientes condiciones:

- Temperatura. Sólo se produce a una temperatura inferior al punto de fusión de los vidrios. Tras alcanzar la temperatura de fusión, y a medida que ésta baja, la tendencia a la cristalización aumenta. Al mismo tiempo, y en mayor proporción, aumenta la viscosidad que se opone a la movilidad de las moléculas y mantiene el vidrio en estado de sobrefusión¹⁵⁶.
- Composición. Es un factor importante de desvitrificación. Un cuerpo cristaliza tanto más fácilmente en una solución en la que su concentración es mayor. Los constituyentes del vidrio cristalizan a más baja temperatura que en estado libre. Es el caso de la sílice, salvo en los vidrios alcalinos o plúmbeos, donde su cristalización se hace en unos límites de temperatura más amplios. Cuanto más variados sean los componentes de un vidrio, menor tendencia a la desvitrificación tendrá.
- Factor tiempo: velocidad de enfriamiento. “Todos los vidrios cristalizan si el calentamiento a temperatura vecina al punto de fusión es suficientemente prolongado para vencer la inercia debida a la viscosidad.”¹⁵⁷

El vidrio desvitrificado es mucho más resistente y menos frágil, aunque sus propiedades ópticas son peores. En las técnicas de termofusión y en las de casting expuestas en la parte experimental de esta tesis, evitar la desvitrificación es uno de los condicionantes más serios en el cálculo de las curvas de calentamiento y enfriamiento.

I.3.7. La compatibilidad entre distintos tipos de vidrio.

Algunas de las técnicas de trabajo del vidrio que describiremos en esta tesis consisten en mezclar diferentes porciones de vidrio utilizando el calor. Estas técnicas son sobre todo las de fusión (termocollage o fusión en relieve, y fusión total), las de termoformado y las de casting y pasta de vidrio. En estos procedimientos es frecuente utilizar vidrios de diferentes colores, de distintos fabricantes o de diferentes características. Esto implica conocer la naturaleza de los vidrios que se van a unir, puesto que debe quedar demostrada su compatibilidad.

Las incompatibilidades graves entre vidrios se manifiestan con pequeñas fracturas o grietas en las zonas de unión donde ambos tipos de vidrio han sido

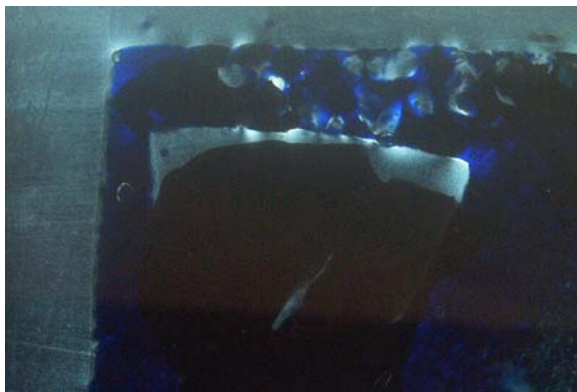
¹⁵⁶ HERO HERNÁNDEZ, A. (1962): *Fabricación y trabajo del vidrio*. Ed. Sintet, Barcelona, p. 177 y sgtes. Tal como lo explica el autor, la devitrificación se produce después de llegar al punto de temperatura más elevado (estado líquido), bajando la temperatura a partir de ahí y manteniéndola un tiempo prolongado.

¹⁵⁷ Ibidem, p. 179.

fundidos. Estas grietas se van haciendo más grandes con el tiempo y terminan por destruir la obra.

Dos son los factores que inciden en la compatibilidad de los vidrios:

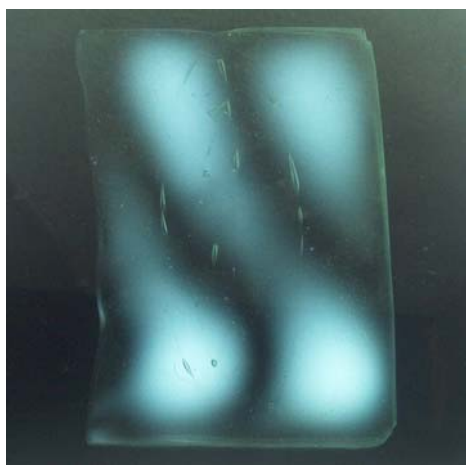
1. Su coeficiente de dilatación, también llamado de expansión o COE (*Coefficient of Expansion*). La explicación es fácil de comprender; supongamos que dos vidrios han sido unidos por efecto del calor hasta formar una sola pieza; si tienen distinto COE, se dilatan o se contraen a diferente velocidad y en diferente proporción cuando se producen cambios de temperatura; esto puede producir graves tensiones internas que causen la rotura de uno o ambos. De hecho, esas tensiones aparecen ya cuando, una vez superada la temperatura a la que fueron unidos (cercana a los 800°C), se comienza el enfriamiento. El de mayor coeficiente de dilatación se contraerá también en mayor medida, por lo que establece una tensión constante con el otro vidrio al que está unido, que no se dilató tanto a la temperatura de fusión, y por tanto se contrae también en menor medida.



Esta imagen muestra las tensiones presentes en esta obra, manifestadas al observarse a través del polariscopio. Los halos blancos son las tensiones, y se deben a la utilización de dos vidrios con coeficiente de dilatación diferente.

El coeficiente de dilatación es el principal causante de los problemas de incompatibilidad entre vidrios, o entre un vidrio y otra materia incluida en este.

2. Las temperaturas críticas, como los puntos de fusión y de recocido. Si dos vidrios tienen distintos puntos de fusión, será difícil llegar a una temperatura en la que su grado de liquidez sea semejante, lo cual dificultará bastante controlar los resultados deseados. Por su parte, el proceso de recocido (cuya función es permitir que el vidrio que ha sido sometido a cambios por efecto del calor recupere la estabilidad molecular y desaparezcan las tensiones producidas por esos cambios) se produce a temperaturas muy concretas, específicas de cada tipo de vidrio. De este modo, dos vidrios con un mismo coeficiente de dilatación serían incompatibles si, por ejemplo, tuviesen sus puntos de recocido en 540°C y en 500°C respectivamente. Podría suceder que, de fijar el punto de recocido en el nivel más bajo, el vidrio cuya temperatura requerida fuera 540°C, no tuviera oportunidad de liberar aquellas tensiones, convirtiéndose éstas en tensiones permanentes.



Esta obra está constituida por varias láminas del mismo vidrio fundidas juntas hasta formar una sola pieza de 2 cm de grosor. El recocido se produjo a una temperatura inadecuada y fue demasiado breve. Esto produjo grandes tensiones, que pueden verse como halos blancos a través del polariscopio.

I.3.8. Diferentes tests de compatibilidad entre vidrios.

El más recomendable de los que a continuación se describirán es la observación de los vidrios, una vez fundidos, recocidos y fríos, a través de un polariscopio. Sin embargo, son también usuales los siguientes:

1. Prueba del estiramiento del hilo¹⁵⁸. Consiste en calentar con un soplete dos fragmentos de los vidrios que se quieren probar hasta que se ablanden y queden unidos por el calor; entonces se estiran formando un hilo recto que se deja enfriar. Si el hilo se curva a medida que se enfría, los dos tipos de vidrio tienen diferente coeficiente de dilatación (siendo el que queda en el lado interno del arco el de mayor coeficiente). Si, por el contrario, continúa siendo recto, los dos tipos de vidrio tienen el mismo coeficiente de dilatación.

Este test es bastante usual para los vidrieros que realizan la técnica de soplete o candilón, ya que suelen tener habilidad haciendo hilos bien rectos. Cuando se vaya a utilizar otro tipo de procedimiento, como fusión o pasta de vidrio, no se recomienda este test, puesto que no replica las condiciones de horneado que se darán en la realidad, y puede producir datos falsos.

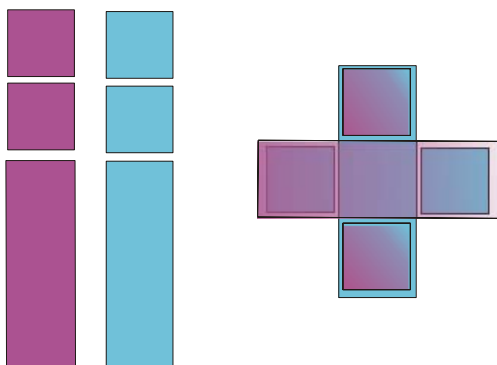
Aunque la prueba de estiramiento de hilos que se ha explicado aquí es una prueba aproximada y *empírica*, está basada en una prueba compleja utilizada en el ámbito científico del vidrio, *el método comparativo por soldadura de dos hilos de vidrio*¹⁵⁹. En ese caso, se utiliza un vidrio cuyo coeficiente de dilatación es conocido, junto con otro cuyo coeficiente quiere hallarse. Se calcula el COE de este segundo vidrio midiendo la curvatura del

¹⁵⁸ LUNDSTROM, B. y SCHWOERER, D. (1983): *Kiln Firing Glass, Book One*. Vitreous Publications, Camp Colton, p. 43.

¹⁵⁹ FERNÁNDEZ NAVARRO (1991): *El vidrio*. CSIC y Fundación Centro Nacional del Vidrio. Madrid, p. 390.

arco producido al enfriarse, y aplicando una fórmula que relaciona longitud del hilo, diámetro del hilo, cuerda del arco...

2. Test de fusión con forma crítica. Consiste en fundir los dos vidrios cuya compatibilidad quiere probarse en forma de cruz. De cada uno de los vidrios se cortan dos rectángulos y dos cuadrados de manera que se forme con ellos una cruz como se muestra en el dibujo. Después se pondrá en el horno de fusión, para llegar a la temperatura de fusión total.



A la izquierda se muestran las piezas de vidrio que deben cortarse. Cada color representa un tipo de vidrio distinto. La cruz formada a la derecha tiene las piezas azules abajo, y las violetas arriba. Esta cruz tiene una forma crítica; esto quiere decir que, una vez fundida a la temperatura de fusión total, si no hay compatibilidad, se romperá.



La fotografía de la izquierda muestra un ejemplo del test de fusión con forma crítica, realizado con el mismo tipo de vidrio. A la derecha, se ve la imagen polarizada, sin tensiones.



3. Test del congelador. Esta prueba “doméstica” consiste en introducir en el congelador las piezas de vidrio fundidas cuya compatibilidad queramos comprobar. Por supuesto, estas piezas deben estar a temperatura ambiente cuando las metamos en el congelador, y permanecer allí al menos 24 horas. Si soportan el enfriamiento y la descongelación, posiblemente no tengan tensiones internas o estas sean leves y soporten esas condiciones térmicas extremas.¹⁶⁰ El test va aún más allá recomendando otra prueba: lavar la obra en el lavaplatos, y ver si resiste el agua caliente...
4. Test del polariscopio. La prueba con un polariscopio puede ser de dos tipos: examinar a través de estos filtros una obra ya acabada para ver si tiene tensiones (sólo se verán si es en parte transparente) o el *test del vidrio de base*¹⁶¹, que consiste en realizar pruebas de compatibilidad con pequeñas muestras de diferentes tipos de vidrio, esmaltes, etc., utilizando como base una lámina transparente de un vidrio cuyas características sean conocidas.

¹⁶⁰ BRADLEY WALKER, M. (2000): *Warm Glass*. Four Corners International, Clemmonds.

¹⁶¹ Ibídem.

Esta segunda es la prueba más efectiva para los procedimientos de trabajo basados en el horno cerámico y en el horno de fusión, como se irá describiendo a lo largo de esta tesis.

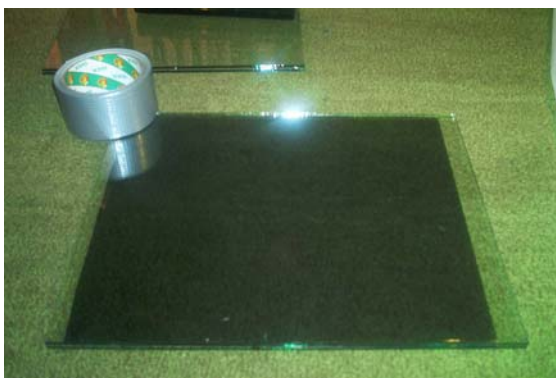
I.3.9. Construcción de un polariscopio

Para hacer un estresómetro o polariscopio es necesario disponer de gelatina o filtro polarizante. Se pueden utilizar también filtros polarizantes para los objetivos fotográficos, pero son caros y de tamaño demasiado pequeño. En las empresas de iluminación de espectáculos suelen vender gelatinas de colores para focos, y pueden suministrar también filtros polarizantes. En este caso, he utilizado gelatina polarizante Rosco, que, como indica en las instrucciones de uso, puede usarse para fotografía de cristales y birrefringencia¹⁶².

El folleto explicativo que acompaña a la gelatina polarizante indica que “el Filtro Polarizante Rosco es un filtro polarizante lineal desarrollado para su uso en iluminación”, pero que además de su uso para la reducción de reflejos, puede ser utilizado para aplicaciones técnicas, “incluida la birrefringencia para fotografiar cristal”.



El principio de este aparato consiste en situar entre dos filtros polarizantes el vidrio cuyas tensiones queramos analizar; se hace pasar una luz a través de este conjunto girando el filtro superior hasta que se consiga la mayor oscuridad posible (esto indicará que los dos filtros forman un ángulo de 90°); si hay tensiones en el vidrio, se verán como halos blancos.

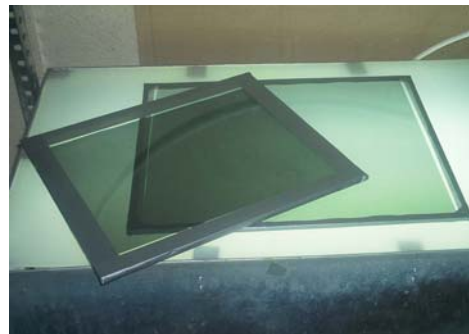


La gelatina polarizante se protege entre dos vidrios cortados a la misma medida. Los bordes de los vidrios se fijan con cinta adhesiva, de manera que la gelatina no se mueva, y que no se produzcan cortes accidentales en los dedos al manejar el filtro.

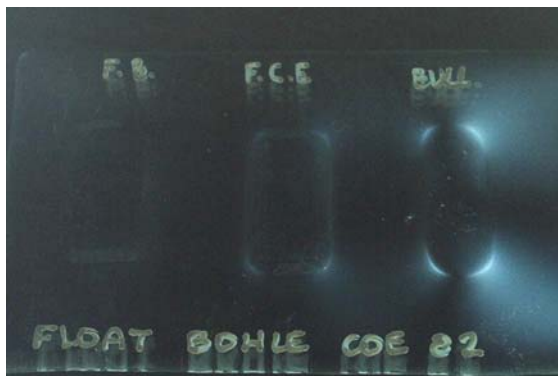
¹⁶² Más adelante en este capítulo se describirá el principio de birrefringencia en el que se basa el polariscopio.

La gelatina polarizante comercial es muy delicada, por lo que será necesario protegerla entre dos vidrios del mismo tamaño, bien limpios y sin tensiones. El procedimiento es muy sencillo: se cortan dos trozos de vidrio idénticos, del tamaño deseado; se corta también un trozo de gelatina polarizante del mismo tamaño, y se coloca entre los dos vidrios; los bordes se fijan con cinta adhesiva. Se vuelve a repetir la operación para tener un segundo filtro polarizante.

Una mesa de luz puede hacer las funciones de foco de luz. Se colocan sobre ella los dos filtros y, entre éstos, las muestras de compatibilidad de vidrios, esmaltes, etc, o las obras cuya solidez queramos analizar. Se comprobará la presencia de halos blancos que delaten esas tensiones.



En esta prueba de compatibilidad horneada previamente, vemos que el vidrio de la izquierda (es el mismo que el vidrio transparente de base) no presenta problemas de incompatibilidad; el vidrio del centro, presenta una ligera incompatibilidad, que no daría problemas sobre todo si creamos esculturas (los objetos de uso doméstico que vayan a sufrir mucha manipulación o frecuentes cambios rápidos de temperatura sí serían problemáticos), y la tercera pieza de vidrio, a la derecha, demuestra una gran incompatibilidad.

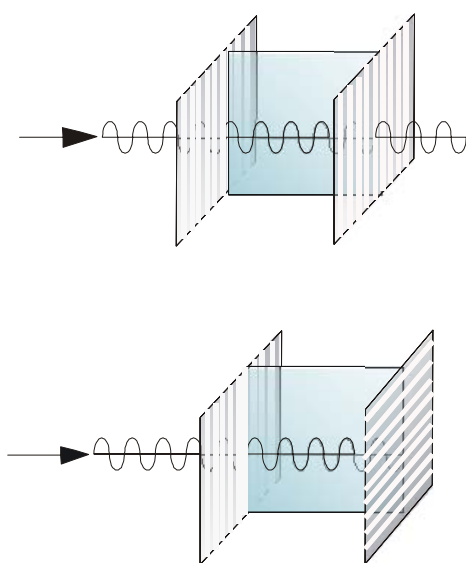


I.3.10. Funcionamiento del polariscopio. Polarización y birrefringencia.

La polarización se define como *la orientación específica del campo eléctrico de la onda luminosa*¹⁶³. Las ondas desordenadas que surgen de una fuente incandescente se dice que no están polarizadas, porque las orientaciones de sus campos eléctricos están distribuidas al azar en el espacio y el tiempo.

Existen varios dispositivos que convierten la luz no polarizada aleatoria en luz polarizada. Uno de esos tipos es la película polarizadora comercial llamada Polaroid, inventada por E.H. Land en 1938. *Este producto contiene moléculas de hidrocarburos de cadena larga que resultan alineadas cuando la lámina en que se obtienen se estira en una dirección durante el proceso de fabricación.*¹⁶⁴

El polarizador convierte la luz aleatoria en otra polarizada en un plano. Cuando se sitúan sucesivamente a lo largo de un haz de luz dos elementos polarizadores, el primero de ellos se llama polarizador, y el segundo analizador. Si el polarizador y el analizador están cruzados, es decir, si sus ejes son mutuamente perpendiculares, no pasará nada de luz a través de ellos.



Figuras 1 y 2.

Esta figura muestra una aproximación gráfica a la idea de polariscopio: cada filtro polarizante sólo permite pasar los rayos de luz alineados con él. En el dibujo superior, ambos filtros tienen su alineación paralela, dejando pasar gran cantidad de luz. En el dibujo inferior, vemos lo que sucede si ambos filtros se disponen formando 90°: impiden el paso de gran cantidad de luz, produciendo un tono casi negro.

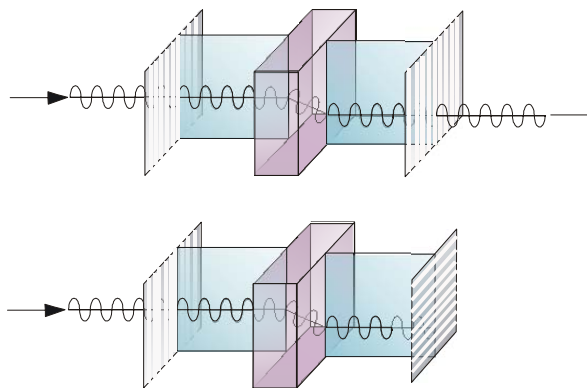
Los filtros polarizantes lineales, usados para construir un polariscopio, a simple vista parecen sólo hojas de plástico transparente y grisáceas. Están constituidos de manera que filtran los rayos de luz, alineándolos. La organización interna de estos filtros se podría explicar parcialmente mediante un paralelismo con una persiana. Los rayos de luz (entendidos como ondas

¹⁶³ MAULDIN, J.H. (1991), p. 191

¹⁶⁴ VV.AA. (1996 a), p. 997.

electromagnéticas) cuyas vibraciones están en el mismo plano que las líneas del filtro polarizante, pueden pasar, mientras que aquéllos que se sitúan en otros planos, *chocan* con el filtro y son absorbidos y retenidos¹⁶⁵.

Las sustancias transparentes tienen la propiedad de que la luz sigue en su interior una sola dirección. Éste es el caso del agua, el vidrio o el aire. En un medio que además de ser transparente sea homogéneo, es decir, que mantenga propiedades idénticas en cualquier punto del mismo, la luz se propaga en línea recta. Esta característica, conocida desde la antigüedad, constituye una *ley fundamental* de la óptica geométrica.



Figuras 3 y 4

Una de las propiedades del estado vítreo, como ya se dijo al hablar de las características físico químicas del vidrio, es la *isotropía*, según la cual las propiedades de los vidrios resultan independientes de la dirección en que se consideren y son iguales en todos los puntos de una masa homogénea. Esta característica hace que los vidrios se asemejen a los líquidos. A la isotropía se debe que los vidrios se comporten ópticamente como un medio vacío y los rayos luminosos se transmitan en ellos con la misma velocidad en todas direcciones.

Debido a su estadístico desorden estructural, los vidrios son monorrefringentes¹⁶⁶, y únicamente, como resultado de acciones mecánicas, puede aparecer una birrefringencia temporal que se mantendrá mientras dure la fuerza perturbadora¹⁶⁷. En los vidrios, la birrefringencia suele estar causada por tensiones internas.

Una lámina de vidrio homogénea y sin tensiones es monorrefringente, es decir, cada rayo luminoso que penetra en el vidrio sufre una desviación pero vuelve a salir formando una línea paralela a la de incidencia, según la ley de Snell¹⁶⁸. Los rayos luminosos que se sitúan en un mismo plano cuando inciden

¹⁶⁵ Ver figuras 1 y 2.

¹⁶⁶ Es decir, los rayos de luz que lo atraviesan sufren una desviación debida a la diferente naturaleza del material atravesado, como sucede cuando la luz atraviesa el agua. La birrefringencia se produce cuando son dos los rayos que surgen del rayo incidente.

¹⁶⁷ FERNÁNDEZ NAVARRO (1991), p. 51.

¹⁶⁸ 2.ª Ley de refracción o ley de Snell: los senos de los ángulos de incidencia ε_1 y de refracción ε_2 son directamente proporcionales a las velocidades de propagación v_1 y v_2 de la luz en los respectivos medios. Cuando la luz atraviesa una lámina de material transparente el rayo principal sufre dos refracciones, pues encuentra en su camino dos superficies de

sobre el vidrio, vuelven a salir de éste a lo largo de un plano paralelo al de incidencia. Por consiguiente, si el primer filtro polarizante alinea los rayos luminosos en planos paralelos, y éstos inciden en la lámina de vidrio, sufrirán una desviación debida a la refracción, pero seguirán estando en planos paralelos al salir del vidrio. Si el segundo filtro polarizante es paralelo al primero, dejará pasar la luz. Por el contrario, si es perpendicular al primero, se ocultará la mayoría de la luz, y la lámina de vidrio será prácticamente invisible.

Los materiales birrefringentes rotan o giran la dirección de polarización de la luz, de manera que la luz de una longitud de onda particular se transmite entre dos polarizadores cruzados. La birrefringencia es un fenómeno complejo. Cuando un rayo de luz incide sobre un material anisótropo, puede separarse en dos rayos denominados rayo ordinario y rayo extraordinario. Estos rayos están polarizados en direcciones mutuamente perpendiculares y se propagan con diferentes velocidades. Dependiendo de la orientación relativa del material y de la luz incidente, los rayos pueden propagarse también en direcciones diferentes.

Cuando el vidrio tiene tensiones, pierde su carácter isótropo y se vuelve birrefringente. Estas tensiones pueden estar producidas por presiones mecánicas externas (en este caso son pasajeras, pues desaparecen al dejar de ejercer esas presiones) o por un enfriamiento demasiado rápido. Cuando los vidrios son birrefringentes, a simple vista no se aprecia diferencia respecto a otros vidrios isótropos. Sin embargo, el polariscopio demuestra la presencia de zonas anisótropas o birrefringentes. Los rayos de luz que inciden en estos vidrios se refractan en dos: uno, paralelo al de incidencia (sería el ordinario) y otro, vibrando en un plano perpendicular al de incidencia (efecto extraordinario). Este último rayo, al pasar a través del polariscopio, escaparía del segundo filtro polarizador cuando este está cruzado 90° respecto al anterior. Visualmente, esto se traduce en halos de luz blanca en las zonas birrefringentes, cuando el resto de la pieza de vidrio permanece oscura.

separación diferentes. En una lámina de vidrio de estas características las normales N y N' a las superficies límites S y S' son también paralelas, por lo que el ángulo de refracción respecto de la primera superficie coincidirá con el de incidencia respecto de la segunda. Si además la lámina está sumergida en un mismo medio como puede ser el aire, éste estará presente a ambos lados de la lámina, de modo que la relación entre los índices de refracción aire-vidrio para la primera refracción será inversa de la correspondiente a la segunda refracción vidrio-aire.

Esta equivalencia en la magnitud de desviaciones de signo opuesto hace que el rayo que incide en la lámina y el rayo que emerge de ella sean paralelos, siempre que los medios a uno y otro lado sean idénticos. En tal circunstancia las láminas plano-paralelas no modifican la orientación de los rayos que inciden sobre ellas, tan sólo los desplazan.

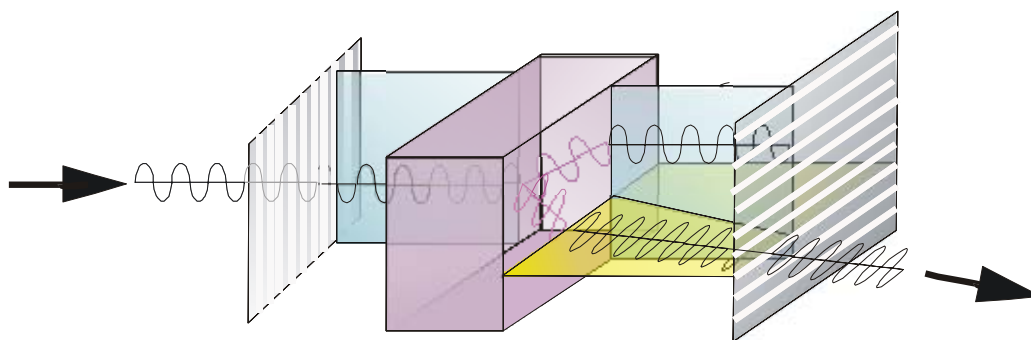


Figura 5

I.3.11. Diferentes tipos de tensiones apreciadas con el polariscopio. Grados de tensión aceptables o inaceptables.

De lo mencionado al explicar el fundamento del polariscopio se deduce que la oscuridad es sinónimo de vidrio sin tensiones, es decir, en óptimas condiciones. Puede decirse que el brillo del halo de luz determina la severidad de las tensiones y el grado de incompatibilidad. Cuanto más brillante es la luz que atraviesa el polariscopio, más incompatibles serán los vidrios.

La situación óptima sería aquélla en la que todos los vidrios que van a utilizarse son totalmente compatibles. Algunas fábricas de vidrio artístico, como se verá en esta tesis, testan sus vidrios para asegurarse de que los diferentes colores ofrecidos son totalmente compatibles. Pero en los demás casos, es necesario realizar tests de compatibilidad y probar qué materiales pueden fusionarse y cuáles no.

Diferentes autores consultados dan diferentes opiniones respecto al grado de estrés que es capaz de soportar un vidrio fundido. Así, HALEM (1996)¹⁶⁹ considera aceptable una diferencia en el coeficiente de dilatación de una unidad; mientras que la mayoría de artistas y fabricantes de vidrio alargan esta diferencia hasta tres puntos. BRADLEY WALKER (2000)¹⁷⁰ no especifica una cifra concreta, pero sugiere que las muestras con un ligero halo son suficientemente compatibles, y que, en todo caso, el uso de las piezas de vidrio fundidas dirá si las tensiones causadas por incompatibilidad fueron o no lo bastante fuertes...

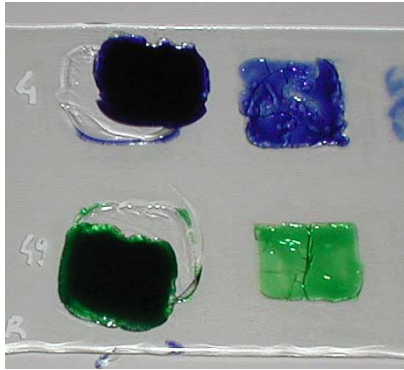
MOORMAN (1990)¹⁷¹ ofrece un esquema de muestras tipo observadas mediante el polariscopio, con una gradación de mayor a menor tensión. Así, las que reflejan una *tensión extrema* son aquéllas en las que a simple vista se muestran roturas y grietas. En segundo lugar se clasificaría la *tensión severa*, en muestras que al ser observadas mediante el polariscopio presentan halos

¹⁶⁹ HALEM, H. (1996)

¹⁷⁰ BRADLEY WALKER, M. (2000)

¹⁷¹ MOORMAN, S. (1990), p.20.

en forma de grandes pétalos de flor. La *tensión leve* se observa en el polariscopio como unas suaves líneas blancas alrededor de las uniones entre dos vidrios. Por último, no hay tensiones cuando no se percibe ningún tipo de luz blanca.



Las dos imágenes muestran cómo dos esmaltes probados sobre un vidrio float se han desprendido de éste, demostrando una incompatibilidad extrema. Sin embargo, la imagen tomada con el polariscopio no revela ninguna tensión, a pesar de las roturas.

Cuando el vidrio o el esmalte testado se desprende de la base transparente, ya sea parcial o totalmente, no se verá ninguna tensión al observarlo a través del polariscopio. La tensión ha desaparecido al desaparecer la causa. Sin embargo, las roturas o separaciones de vidrio son la demostración de incompatibilidades extremas, por lo que esos vidrios no deberán fundirse juntos.

LUNDSTROM (1991)¹⁷² considera que no es necesaria una ausencia total de luz blanca en el polariscopio para lograr fundir diferentes vidrios con éxito. Se pueden aceptar ciertos niveles de incompatibilidad, ya sea causada por diferente COE o por el recocido. Pero aconseja tener en cuenta lo siguiente:

- El tamaño y el grosor de la obra acabada. Cuanto mayor sea la pieza, menos tolerancia tendrá al estrés.
- Los procesos secundarios y de acabado que requiera la obra. Si es necesario arenarla, tallarla, o pulirla, será menos capaz de soportar tensiones.
- El uso que se vaya a dar a la obra. Si se trata de un objeto de uso funcional, como vajilla o iluminación, deberá tener pocas tensiones para soportar los cambios de temperatura y la manipulación. Sin embargo, si se trata de una obra escultórica, no correrá tantos riesgos.

¹⁷² LUNDSTROM, B. (1991), p.129

II. DIVERSAS TÉCNICAS DE TRABAJO CON VIDRIO QUE PUEDEN USARSE PARA LA ESCULTURA.

II.1. TÉCNICAS DE TRABAJO ESCULTÓRICO CON VIDRIO CALIENTE.

Puede utilizarse el calor para dar forma a una obra escultórica en vidrio de diferentes maneras. El primer grupo de técnicas es el que está más relacionado con el trabajo tradicional del vidrio, puesto que la obra se realiza manipulando una masa de vidrio caliente, en estado fluido, salido de un horno con crisol. Otra técnica es la llamada *de candilón* o soplete, en la que se parte de una porción de vidrio frío, generalmente una barra o tubo, y se utiliza el calor para modificar su forma. El último grupo de técnicas que incluiremos entre las de trabajo con vidrio caliente, parte también de vidrio frío y le da forma en un horno semejante a los de cerámica; del trabajo con esas técnicas se ocupa la parte experimental de esta tesis. En este conjunto de técnicas podemos distinguir dos tipos: la familia de técnicas de *fusing*, fusión (llamadas también vitrofusión o termofusión), que se basan en la utilización sobre todo de vidrio plano (laminado), granillas o fritas y la familia de las técnicas de pasta de vidrio o *casting* (moldeado), en las que se utiliza siempre un molde refractario en el que se introducen fragmentos o polvo de vidrio y se funde.

II.1.1. Trabajo del vidrio caliente en masa.

En estas técnicas, como ya hemos adelantado, se trabaja con el vidrio en estado caliente y fluido. Se utiliza un horno especial, en cuyo interior se calienta el vidrio hasta que alcanza su estado líquido.



Pequeño horno con crisol en la Escuela del Centro Nacional del Vidrio de La Granja.

El horno consiste básicamente en un espacio cerrado hecho de material refractario, que tiene una chimenea o tiro y un quemador generalmente de gas. Dentro se sitúa un recipiente, el crisol, que contiene el vidrio. Otro tipo de hornos, llamados de balsa, no tiene un contenedor aparte para el vidrio, sino que su misma estructura forma un espacio para éste.

Respecto al trabajo de la escultura, uno de los inconvenientes que tienen los hornos para fundir vidrio es su coste, no sólo de compra e instalación, sino también de mantenimiento. Los hornos tradicionales para vidrio no pueden apagarse en ningún momento, pues la diferencia de temperatura durante el enfriado rompería los crisoles. Sin embargo, van surgiendo tipos de hornos pequeños que pueden hacerse con poco coste y alimentarse con propano. Pueden apagarse durante el tiempo en el que no se vayan a utilizar¹.

El horno debe tener una buena combustión, que se consigue mezclando en las proporciones adecuadas el gas y el aire. La atmósfera dentro del horno debe ser neutra, ya que una atmósfera oxidante (demasiado oxígeno en la mezcla) o reductora (poco oxígeno en la mezcla) puede afectar al color del vidrio.

La temperatura de fusión en el crisol varía según el tipo de vidrio entre los 1022°C (vidrio sodocálcico común) y los 975°C (vidrio de plomo o cristal)². A esa temperatura, el vidrio tiene un color amarillo intenso, incandescente.

El vidrio en estado fluido puede trabajarse de varias maneras:

- Por soplado, cuando se forma una bola de vidrio a la que se da forma con moldes o libremente.
- Por colada, cuando se vierte vidrio líquido ya sea sobre una superficie, ya sea sobre un molde.

II.1.2. Vidrio soplado a boca.

Este es el procedimiento principal de trabajo con vidrio caliente en masa, es decir, se da forma al vidrio salido de un crisol mientras conserva su estado fluido.

Desde la invención del vidrio soplado, hace veinte siglos, no se ha variado este procedimiento de trabajo con vidrio. La herramienta más importante es la caña, un tubo hueco a través del que se puede soplar para hacer bolas de vidrio. La caña suele tener un morro más grueso, alrededor del cual se deposita el vidrio.

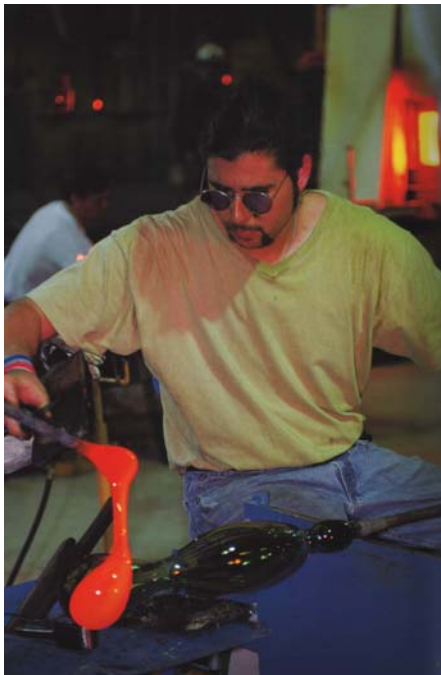
¹ MIRBECK, X. (1992), pag. 10.

² Punto de hundimiento, constante en cualquier vidrio a 10^4 Pa.s, según MARI, E. A. (1982), pag. 169. Ver capítulo *El vidrio como material. Características físico-químicas* en la parte de fundamentación de esta tesis.

Otras herramientas importantes son el ferre y el puntil (dos tipos de barras de hierro que también sirven para coger vidrio en su extremo), el mable (una superficie plana de metal sobre la que se gira el vidrio para conseguir paredes rectas), los hierros o pinzas de distintos tipos para dar forma y trancar el vidrio, las tijeras de varias clases para cortar el fluido de vidrio o guiarlo en una determinada dirección, las mallochas (tacos de madera con mango, que tienen un hueco en forma de cuarto de esfera tallada) y paletas de madera y papel de periódico humedecido para dirigir la forma de la bola de vidrio.

Cuando se trabaja con estas técnicas, hay que procurar permanecer el menor tiempo posible en las inmediaciones del crisol, debido al calor y a las quemaduras que una larga exposición puede producir. También conviene utilizar unas gafas con filtro ultravioleta, para evitar las llamadas “cataratas de vidriero”.

El banco de trabajo es un asiento largo que tiene a cada uno de sus lados un soporte metálico, sobre el que se sujeta y se gira la caña mientras se trabaja la posta de vidrio.



Un maestro vidriero, sentado en un banco de trabajo, sostiene con unas tijeras un ferre que acerca otra persona, para dirigir el chorro de vidrio sobre la posta que está trabajando. Está realizando una obra del escultor Chihuly.

La caña, el ferre o el puntil que se vayan a utilizar deberán estar calientes al rojo para que el vidrio se pegue a ellos. Se calientan colocándolos junto a la boca del horno. La operación de sacar una porción de vidrio del crisol se llama “levantamiento de una posta” de vidrio. Se introduce en la boca del horno una caña caliente, inclinada lo necesario para que se introduzca ligeramente en la superficie del vidrio. Al girarla, el vidrio se pegará a ella de la misma manera que la miel se pega a una cuchara. Cuando se saca la posta de vidrio hay que tener cuidado para no rozar los laterales de la boca del horno (el vidrio se pegaría), y trasladar la caña casi horizontalmente hasta la zona de trabajo.

Para evitar que el vidrio caiga al suelo, es necesario girar lenta y continuamente la caña.

Apoyando la caña en un soporte y sin dejar de girar, se sopla para hacer una pequeña bola. Hay dos procedimientos de soplado: a pulmón, que consiste simplemente en expulsar fuertemente el aire a través de la caña, y a pistón, que se hace soplando y tapando con un dedo la boquilla; al elevar la posta de vidrio hacia arriba, el aire comprimido dentro del tubo abre el vidrio y crea una burbuja.

Sin dejar de girar, se espera a que la posta de vidrio se haya endurecido un poco, y se vuelve a introducir en el crisol, bañándola de nuevo en vidrio. Se repite todo el procedimiento y se consigue una posta de vidrio cada vez mayor.

Se da forma a la bola de vidrio de pie en el mable o en el banco con ayuda de la mallocha o sujetando en el hueco de la mano un papel de periódico cuidadosamente doblado y humedecido. A continuación, se hace una ligera incisión en el “cuello” de la bola, siempre girando la caña, utilizando unos hierros de trancar. Es necesario hacer esta marca cuando el vidrio está aún caliente, pues nos permitirá separar la pieza de la caña.

Una vez se ha dado a la bola de vidrio el aspecto deseado, se vierten algunas gotas de agua en la trancha y se da un golpe seco a la caña. La forma creada con vidrio se desprende y se puede llevar al arca de recocido.

Si se dejara la bola al aire, el rápido enfriamiento del vidrio provocaría tensiones en su estructura molecular, ya que las zonas superficiales estarían más frías que las internas y la pieza se rompería. El arca de recocido es un horno con bandejas en su interior, en el que se depositan las piezas de vidrio para que bajen gradualmente desde la temperatura de recocido (que oscila según el tipo de vidrio entre los 430°C para el de plomo y los 530°C para el sodocálcico) hasta la temperatura ambiente.

Procedimientos de formado de las obras

Se puede dar forma a la bola de vidrio de dos maneras distintas: libremente, o en un molde. El soplado libre consiste en dar forma al vidrio en el espacio, utilizando distintas herramientas.

El soplado libre se ha utilizado abundantemente en el ámbito escultórico. Generalmente requiere que un equipo de personas trabajen juntas, sobre todo si la obra tiene grandes dimensiones, está compuesta de varias piezas, o es de forma compleja. Un ejemplo de este tipo de trabajo es el del escultor veneciano Luciano Vistosi³.

³ El proceso que describo ha sido tomado del curso de Luciano Vistosi *Iniciación al vidrio artístico*, y de VV.AA. (1992): *Luciano Vistosi. Sculpture*. Las imágenes son de ese libro.



Luciano Vistosi guía a varios operarios en la realización de una de sus obras. Uno de ellos, subido a un andamio, sopla la bola de vidrio, mientras otros adhieren a ésta varillas de vidrio caliente, que servirán para darle forma.



Una vez pegados los cilindros de vidrio, Vistosi indica a cada operario hacia donde moverlo. Mientras, otro continúa soplando.



Otro de los escultores que trabajan el vidrio en soplado libre es Dale Chihuly. En este caso, utiliza las técnicas tradicionales de soplado y decoración para crear piezas con las que después forma sus instalaciones de grandes dimensiones⁴. Suele trabajar con diferentes equipos de maestros vidrieros, a los que indica el tipo de piezas (colores, formas, etc.) que desea.



Dos operarios realizan una obra de Chihuly utilizando una variación de una técnica tradicional en la que se forma un disco usando la fuerza centrífuga, girando la pieza muy rápidamente.

⁴ Esta imagen, como las otras relacionadas con Chihuly, están tomadas de CHIHULY, D. (2000).



“The Boathouse”, estudio de Chihuly en Seattle. A la izquierda, el escultor está haciendo bocetos en el suelo; todo un equipo de personas está realizando las piezas escultóricas. Al fondo, puede verse el crisol, y, en el centro, el banco de trabajo alrededor del cual se congregan cuatro personas cooperando en la obra.

El trabajo con moldes consiste en soplar la bola de vidrio, una vez formada, en el interior de un molde. Para soplar en un molde, el maestro vidriero suele ponerse de pie en una plataforma elevada mientras otra persona prepara y sostiene el molde en el suelo. La caña se mantiene vertical mientras se sopla. Tradicionalmente estos moldes eran de bronce o acero, formados por dos piezas con bisagra que podían abrirse para acoger la posta de vidrio, y cerrarse cuando estaba dentro. En su interior se ponía una mezcla de aceite y carbonilla, para evitar que se adhirieran al vidrio. Muchos de ellos eran moldes rodados, es decir, moldes con formas de revolución dentro de los cuales se soplab a la vez que se giraba la caña. Otros moldes no permitían el giro, y en ellos se notan las cicatrices del cierre del molde. Estos moldes se utilizan aún hoy día en la vidriería tradicional para hacer botellas, copas, jarras y otras formas simétricas.

En el ámbito escultórico tienen mucha importancia los llamados moldes fungibles, elaborados en materiales efímeros y que, generalmente, sólo pueden usarse una o dos veces.

Pavel Homolka, artista vidriero, sopla una pieza de vidrio azul en un molde de madera preparado por mí. Está subido a una plataforma para poder soplar en una postura más cómoda.



Algunos materiales utilizados para hacer moldes efímeros son:

- Cartón. Debe ser un cartón bastante prensado y resistente, y sólo pueden hacerse moldes pequeños. Debe estar húmedo cuando se sopla el vidrio dentro. Los resultados son un poco azarosos, pues dependen de cuánto tarde el cartón en quemarse.

- De madera. Deben estar húmedos cuando se sopla el vidrio dentro, para evitar que salgan llamas. Pueden utilizarse dos o tres veces antes de que se queme la madera.



Mientras Homolka sopla dentro del molde, sujeto el vidrio para que no salga hacia arriba, con ayuda de dos paletas de madera mojadas. Se desprende mucho humo y el molde puede llegar a quemarse. Cerca hay un cubo con agua para remojar las paletas de madera.

La pieza una vez desmoldeada. Ahora falta separarla de la caña, llevarla al arca de recocido y acabarla en frío (cortar y pulir).



- De malla metálica sola y con escayola. Cuando se usa únicamente la malla metálica, lo más probable es que quede incrustada dentro del vidrio. El problema es que, con el tiempo, la diferencia de coeficiente de dilatación hará que el vidrio se rompa. Cuando se prepara el molde de malla metálica protegiéndolo con una capa de escayola muy líquida, el vidrio no se

quedará pegado y podrá sacarse siempre que las formas tengan salida. Quedará impresa la textura de la malla metálica.

- De otros materiales: cerámicos, piedras, etc. Este tipo de materiales encontrados pueden unirse entre sí con alambre, formando una estructura que pueda desmontarse y desmoldarse antes de meter la pieza de vidrio en el arca de recocido.

II.1.3. Creaciones escultóricas con vidrio utilizando el procedimiento de colada.

El procedimiento de colada consiste en verter una masa de vidrio fundido, líquido, sobre un molde que puede estar constituido por diversos materiales. El vidrio se extrae de un crisol donde se mantiene incandescente, a la temperatura adecuada para que su punto de viscosidad sea propicio para el trabajo de soplado y el de colada.



Natalia Garrido (artista y profesora del CNV, asistente en esta ocasión de la artista Ana Thiel) extrae una colada de vidrio del crisol para verterla después en un molde.

Este procedimiento artístico en inglés recibe el nombre de *hot casting* (moldeado en caliente), lo que puede provocar ciertos equívocos en nuestro idioma al confundirlo con lo que ha dado en llamarse también entre nosotros con el término anglosajón “casting”. Esta palabra designa una técnica de moldeado emparentada con la pasta de vidrio, que consiste en introducir grandes trozos de vidrio (sólidos, en frío) dentro de un molde o un bebedero comunicado con éste, para fundirlos a continuación en un horno cerámico.

La colada o *hot casting* es quizá uno de los procedimientos artísticos con vidrio más prometedores para la creación escultórica. Mencionaré varias razones para esta afirmación:

Respecto al proceso de trabajo:

- Existe una cierta similitud con otros procedimientos artísticos tradicionales en escultura, como la fundición de bronce. Ya se mencionó más arriba que el trabajo con esta técnica consiste en verter vidrio fundido sobre moldes de diversos tipos.
- El trabajo del vidrio en caliente permite que se pueda contemplar la forma de la escultura de manera más inmediata que en otros casos: una vez preparado el molde, el trabajo con el vidrio caliente es muy rápido, y debe completarse en unos cuantos minutos, antes de que el vidrio se enfríe y endurezca. En ese momento podemos ver la pieza de vidrio tal como quedará una vez templada en el arca de recocido.

Respecto a las posibilidades de la técnica:

- Se pueden hacer esculturas de vidrio de considerable grosor (si bien esto requerirá, por una parte, la colaboración de varias personas llenando los moldes, y por otra, más horas de recocido), lo que permite jugar no sólo con la forma sino también con las inclusiones, los efectos ópticos y la dimensión interna (volumen interno) del vidrio.
- El trabajo por moldeo permite muchas posibilidades de trabajo, desde las simples huellas impresas en un molde de arena, hasta otras más complicadas utilizando moldes efímeros, orgánicos, etc.

Respecto a los acabados:

- Suele haber pocas desvitrificaciones, y el aspecto del vidrio es transparente y líquido.
- El trabajo en frío de estas obras permite muchísimas posibilidades: cortado, tallado, pulido, arenado...

La técnica de colada tradicional.

Este procedimiento de trabajo artístico tan utilizado en la escultura contemporánea en vidrio tiene su origen en la técnica tradicional de colada, empleada sobre todo para crear objetos en vidrio mediante moldes de bronce por presión. Para realizar este procedimiento, generalmente se requería que un operario levantara una posta de vidrio del crisol y la depositara en una prensa; en ella había un molde de bronce o acero (y en ocasiones un contramolde) de una o varias piezas que, mediante el uso de un sistema de palancas presionaba el vidrio hasta darle forma. Este objeto de vidrio era depositado después en un arca de recocido.

La técnica de colada actual.

Basándose en el procedimiento de trabajo descrito más arriba, algunos artistas han utilizado la técnica de colada para crear esculturas vertiendo el vidrio sobre

moldes abiertos, sin utilizar prensas. La sencilla técnica de trabajo tradicional se ha combinado con otras técnicas provenientes también de la artesanía del vidrio, como la de los pisapapeles (así, se introducen en la masa de vidrio burbujas, hilos y granillas de colores, esmaltes, etc...) o la del vidrio soplado (combinando algunas fases de esta técnica con la de colada).

El procedimiento de colada paso a paso.

Creo que es necesario dividir el procedimiento de colada en diversas fases para hacer más clara la descripción de este modo de trabajo.

1. *Ideas y bocetos.* Como en cualquier otro procedimiento escultórico, ésta debe ser la fase inicial. En este caso, el abocetamiento no sólo deberá abarcar las cuestiones formales, conceptuales y/o expresivas, sino también los aspectos técnicos⁵.

En esta fase interesa plantear la escultura como un todo, incluyendo aquellos elementos que no sean de vidrio, o la manera de exponerla (colgada, sobre peana, sobre superficie, exenta, etc.).

2. *Preparación de moldes.* Una vez abocetada la escultura y planteados los posibles problemas técnicos, se preparan o construyen los moldes, que pueden ser de materiales variados, como se describirá más adelante. Si los moldes son estables (madera, objetos, etc.) pueden prepararse con bastante antelación y fuera de la zona del horno. Si son inestables (por ejemplo, de arena) se prepararán en el mismo momento en el que se vaya a trabajar en el horno y en las inmediaciones de éste.

Cuando se vaya a proceder al llenado de los moldes, estos se ubicarán cerca del crisol, de manera que las condiciones de seguridad sean buenas, tanto para evitar recorridos excesivos con el vidrio caliente, como para evitar que materiales y objetos de alrededor puedan incendiarse. Si los moldes o los soportes de éstos son de madera se prenderán; puede ser aconsejable humedecerlos antes de verter el vidrio.

Para aprovechar los recursos del crisol y del arca de recocido, se suelen preparar varios moldes para llenar en cada sesión de trabajo.



Natalia Garrido prepara un molde de corteza de árbol y arena sobre el que verterá el vidrio fundido, en el taller de la Escuela de Vidrio del CNV de La Granja.

⁵ Ver p. 123 para más información sobre limitaciones de la técnica de colada.

3. *Levantamiento de las postas de vidrio.* En este momento será precisa la intervención de varias personas, pues el trabajo de vidrio debe completarse en pocos minutos y son varias las tareas que hay que realizar en tan poco espacio de tiempo. Además algunas tareas deben hacerse simultáneamente (verter la posta/ cortar el flujo de vidrio).

La o el artista contará con una persona que lo asista en el trabajo. Esta persona extrae del crisol las cantidades de vidrio necesarias para llenar el molde. Esto puede hacerse de dos formas distintas: con un cazo (especie de cucharón de bronce o acero) o con una caña (herramienta de soplado). En el primer caso se requiere bastante fuerza para arrastrar la gran masa de vidrio y en el segundo, además, cierta habilidad para levantar la suficiente cantidad de vidrio con la ayuda de una herramienta tan sencilla.



Natalia Garrido ha levantado una posta de vidrio lo bastante grande como para llenar el molde de Ana Thiel, en este caso un libro taladrado que ha sido asegurado mediante ladrillos refractarios para que entre sus páginas haya la menor cantidad de aire posible y evitar así que se prenda.

El vidrio se vierte en el interior del molde. Debido a su fluidez, copia la forma del molde al expandirse en horizontal como un líquido. Sin embargo, hay que tener en cuenta que la viscosidad del vidrio le impedirá penetrar en huecos demasiado estrechos. Si el molde es muy grande, se hace necesario verter varias postas de vidrio; lo más recomendable sería que varias personas levantaran vidrio al mismo tiempo, pues en muy pocos minutos el vidrio se enfría. Si la diferencia de temperatura entre dos postas de vidrio sucesivas es muy grande, la “cicatriz” o zona de unión será muy evidente y no siempre puede convenir a nuestros intereses.



Detalle de una escultura en la que se nota la marca creada por dos postas de vidrio sucesivas.

Mientras una persona vierte la posta de vidrio sobre el molde, otra debe ayudar dirigiendo el chorro de vidrio hacia el lugar adecuado con ayuda de una herramienta (generalmente una paleta de madera húmeda, o las mismas tijeras) y cortado después el chorro de vidrio con unas tijeras de punta cuando la cantidad sea suficiente; de no hacerlo así, caerían sobre la obra gotas y chorreos de la posta de vidrio que podrían estropearla. además hay que aplanar la superficie de la pieza de vidrio con ayuda de una paleta de madera húmeda, antes de que se endurezca.



Ana Thiel orienta el vidrio de la posta que está vertiendo Natalia Garrido; con las tijeras cortará ese chorro. Nótese que ambas se han protegido las manos con guantes especiales para alta temperatura (el vidrio en ese momento está a unos 850°C) y los ojos con gafas de filtro UV.

4. *Endurecimiento del vidrio dentro del molde.* Esta fase, muy breve, es una fase de espera. El vidrio debe “cambiar de color” para que sepamos que está lo bastante endurecido como para no alterar su forma o su textura en la fase siguiente. Su color dentro del crisol es amarillo-blanquecino intenso, brillante, casi cegador. Al sacar la posta pasa rápidamente a un color amarillo anaranjado. A medida que se enfría, adquiere una tonalidad roja, para pasar después al marrón verdoso. Ese es el momento en el que está lo bastante frío como para resistir roces sin deteriorarse, y debe llevarse rápidamente al arca de recocido. Si esperásemos más tiempo, la pieza de vidrio comenzaría a enfriarse demasiado rápido, quedando zonas más gruesas o más internas a mayor temperatura que las finas o externas, lo que provocaría choques térmicos que podrían causar la ruptura de la obra.



Obra de Ana Thiel; momentos de espera mientras va cambiando paulatinamente de color.

5. *Recocido de la obra.* En los procesos de trabajo en caliente, tanto en colada como en soplado, las obras deben templarse, es decir, enfriarse a la velocidad adecuada para evitar, por una parte, los choques térmicos que las harían “petar” y, por otra, la presencia persistente de tensiones en el interior de la obra, que podrían producir una rotura en cualquier momento. Cuando la obra ha adquirido un tono pardo, su temperatura ha descendido aproximadamente hasta los 550°C. La dureza de la pieza permite que se pueda trasladar al arca de recocido.



Traslado de una obra de Ana Thiel al arca de recocido ayudándose de una paleta de madera forrada de un material textil refractario.



Arca de recocido en las instalaciones de la Escuela de vidrio del CNV de La Granja. Es un horno programable que enfría el vidrio lentamente entre los 550°C y la temperatura ambiente.



Ana Thiel coloca algunas piezas de vidrio en el interior del arca de recocido.

Las herramientas utilizadas para levantar las postas de vidrio, ya sean cazos o cañas, deben limpiarse de restos de vidrio antes de volver a utilizarse. Para ello, se introducen en un cubo de agua fría; el vidrio se craquelará. Después, con una bata, se rompe el vidrio que está pegado a la herramienta.

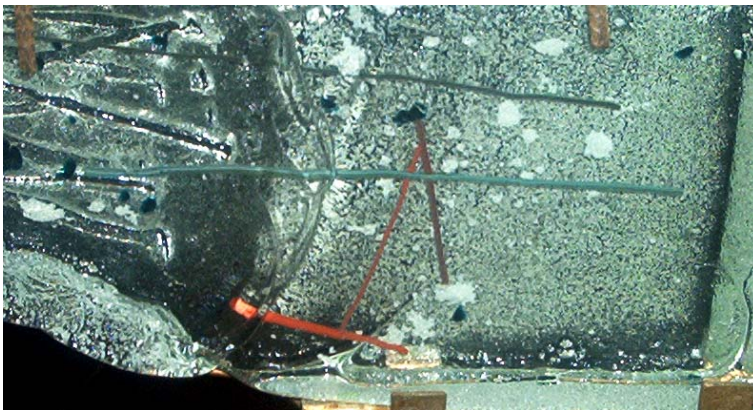
6. *Acabado y montaje de la escultura.* Cuando las obras se han enfriado en el arca de recocido siguiendo la curva programada, podemos sacarlas y comprobar los resultados. En algunos casos, pueden presentarse roturas cuando la obra se arriesgaba experimentando con inclusiones o moldes poco compatibles; en otros casos puede haber tensiones internas debidas a un enfriamiento inadecuado, que habrá que comprobar usando un polariscopio. Algunas obras podrán darse por concluidas en este momento; otras precisarán tratamientos en frío (corte, pulido, arenado, etc.).

Por último, se montarán con los materiales que se hubieran previsto en un principio. Hay que tener en cuenta que estas piezas de vidrio pueden ser delicadas, por lo que los montajes evitarán someter el vidrio a situaciones inadecuadas.

Otras posibilidades en el trabajo por colada.

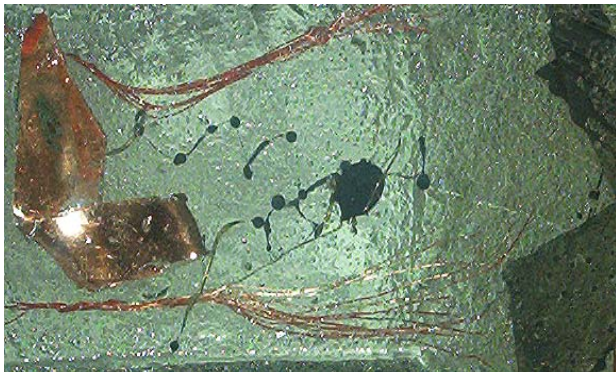
La artista Ana Thiel recoge las siguientes variaciones del proceso de trabajo descrito más arriba⁶:

- Doblado. Una vez el vidrio está dentro del molde, se deja enfriar hasta que no fluya, pero aún conserve flexibilidad; entonces, con paletas de madera húmedas (las de metal enfrían demasiado el vidrio en el punto donde lo tocan) se levanta una parte de la pieza, doblándola, y se mantiene así sostenida hasta que esté lo bastante endurecida como para mantener la forma.
- Combinación con vidrio soplado. La textura lisa y brillante del vidrio soplado contrasta con la del vidrio moldeado por colada. Es preciso tener una burbuja de vidrio soplada y aún caliente, que puede ponerse debajo de la colada, o pegada sobre ella.
- Inclusiones de vidrio de colores. Pueden ponerse en el molde fragmentos de vidrio de color, varillas o fritas y verter el vidrio encima, o situar esos elementos en el interior del vidrio, entre dos postas distintas.



Arriba, detalle de una obra en la que hay varillas de vidrio de color incluidas entre dos postas de vidrio. A la izquierda, fragmentos de vidrio azul que se pusieron sobre las postas de vidrio, antes de que se enfriaran. Quedaron pegados incorporándose a la obra.

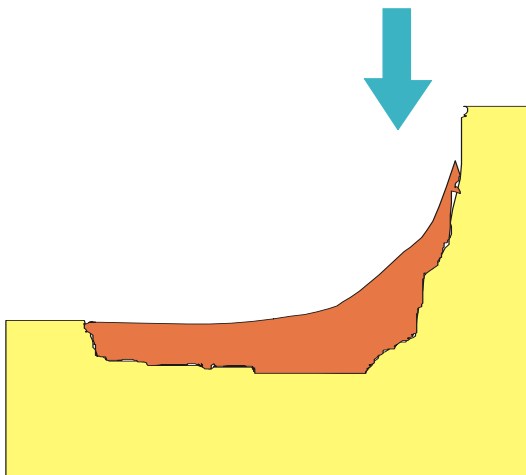
- Inserciones de metal. Es conveniente utilizar un alambre que sea compatible con el vidrio, como el de cobre. Otros metales dan resultados variables, como el latón y el estaño.



Tres inclusiones metálicas en el interior de una obra de vidrio hecha por colada. Los metales rojizos son alambres y lámina de cobre; las bolas negras corresponden a alambre de latón. A la derecha puede verse un velo negro, creado a partir de una lámina de estaño.

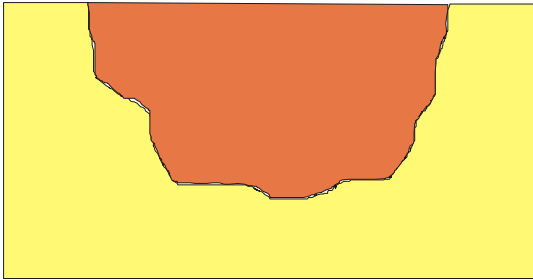
Cuestiones técnicas que hay que tener en cuenta en las diversas fases.

En primer lugar, tenemos que tener en cuenta que trabajaremos con vidrio en estado líquido, sometido a la fuerza de la gravedad. Creo que una buena comparación es imaginar que los moldes que estamos preparando los tendremos que llenar con miel; si tratásemos de cubrir una superficie vertical, la miel se escurriría: eso mismo sucede con el vidrio. Las paredes verticales del molde no quedarán cubiertas a no ser que toda la masa de vidrio que quede contenido dentro adquiriera una superficie horizontal superior a la altura de esas paredes. Por tanto, los moldes serán más bien planos.

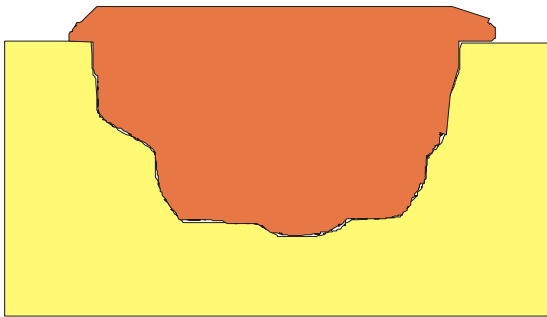


Este gráfico muestra un corte vertical de un molde y el vidrio vertido en él mediante la técnica de colada. En la pared de la derecha, el vidrio, mientras esté aún caliente, irá escurriéndose y caerá sobre la parte horizontal. La forma puede ser imprevisible, puesto que al enfriarse será menos fluido y puede tener una textura rugosa en la superficie.

⁶ Ana Thiel, *Curso de vidrio vaciado en arena*, junio 1995.

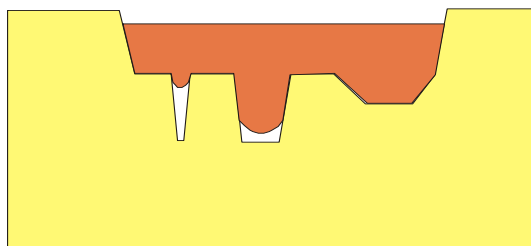


Este molde ha sido llenado con una colada de manera que las paredes están por debajo del nivel alcanzado en la superficie del vidrio: la forma resultante es previsible, puesto que el vidrio está contenido dentro del molde hasta que se enfríe.



Cuando la cantidad de vidrio desborda el tamaño del molde, pueden quedar bordes irregulares. Si la forma que queremos hacer en nuestra escultura no admite esos bordes, será necesario un trabajo en frío bastante complejo para cortar esos bordes y pulir los cantos de corte. Por eso, es mejor evitar este efecto, a no ser que lo hayamos abocetado así.

La viscosidad del vidrio es otro factor que influye decisivamente en que el molde se “copie” bien o no. Cuando se trabaja por colada, el vidrio se encuentra en un estado fluido, pero no tanto como para penetrar en formas estrechas y profundas. El esquema siguiente muestra un corte vertical de un molde con distintas formas en su interior, y un resultado aproximado de la penetración del vidrio en esas formas.



Moldes

Moldes de arena.

La mejor es la arena para fundición, pero también puede usarse sílice purificada. Se prepara añadiendo un 4% en volumen de bentonita, que sirve como agente aglutinante de las partículas de arena.

La arena debe estar húmeda. Se añade agua y se mezcla bien hasta que se forma una masa muy húmeda y pegajosa; un puñado de arena apretada con la mano, debe quedar con la forma sin desmoronarse.

Se utiliza una caja grande de madera como contenedor de la arena. A través de un tamiz de malla suficientemente ancha, se va vertiendo la arena dentro de la caja. El propósito de esta operación es que la arena quede suelta, para que pueda salir el vapor de agua que se creará al verter la colada de vidrio caliente. Además, cuanto más mullida esté la arena, mejor se copiará la forma del molde.

Para crear el molde pueden utilizarse objetos variados que se imprimirán sobre la arena, dejando en ella su forma. También pueden utilizarse piezas creadas especialmente para este menester, en escayola o en otros materiales.

El modelo se presiona contra la arena hasta que la forma adquiere cierta consistencia y las paredes no se desmoronan.

Cuando se quiera hacer una pieza con entrantes laterales que no tengan salida, y por tanto no sean desmoldeables, estas formas se marcarán en la arena en un segundo paso, tras haber creado el hueco de la forma principal.

Como desmoldeante de los moldes de arena se utiliza grafito en polvo o carbonilla. El primero se rocía con la mano sobre la arena. El segundo se pone en el molde con un soplete de oxiacetileno, prendiendo sólo la llama de gas; se consigue una llama humeante que desprende muchas pavesas. Se dirige brevemente sobre la arena (no debe secarla completamente) para ennegrecerla.

Otros moldes: fungibles, objetos encontrados.

Pueden prepararse moldes a partir de madera, cartón, etc. Generalmente se queman durante el proceso de moldeado del vidrio. Conviene humedecerlos antes de verter el vidrio para evitar que surjan llamas. Los moldes que se deterioran durante el proceso de colada reciben el nombre de fungibles. En general, conviene evitar que queden pegados al vidrio, puesto que su coeficiente de dilatación puede no ser compatible con el del vidrio. Además, en el caso de materiales orgánicos, puede que se quemen en el arca de recocido. Sin embargo, pueden incorporarse a la obra terminada si se separan de la pieza de vidrio una vez ha sido esta moldeada, y se guardan aparte hasta que haya acabado el proceso de recocido.



En una obra de Ana Thiel, un libro se ha convertido en molde troquelando una forma en su interior. El vidrio vertido sobre él hace que se queme. En cuanto el vidrio se haya endurecido suficientemente se podrá separar el molde y mojarlo para detener el fuego; se incorporará a al obra una vez recocido el vidrio.

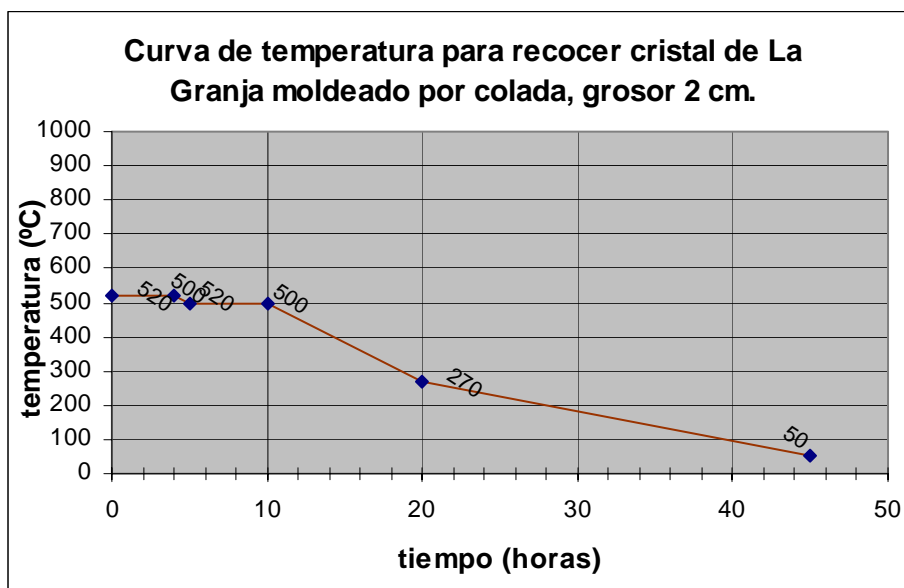
No sirven como materiales para moldes aquéllos que burbujan en contacto con el calor, como la escayola.



Al verter el vidrio sobre la escayola, se ha convertido en una masa de burbujas que se queda adherida al molde.

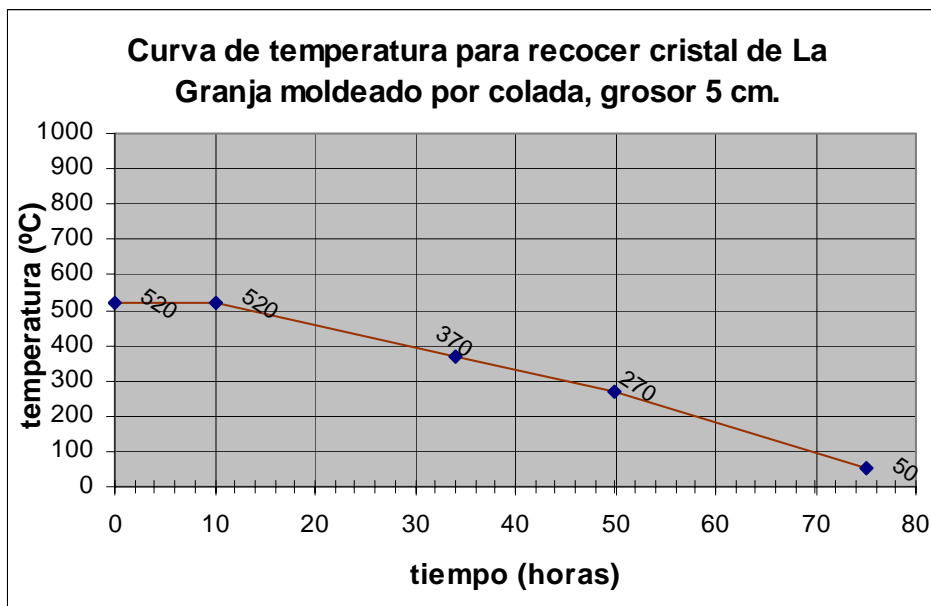
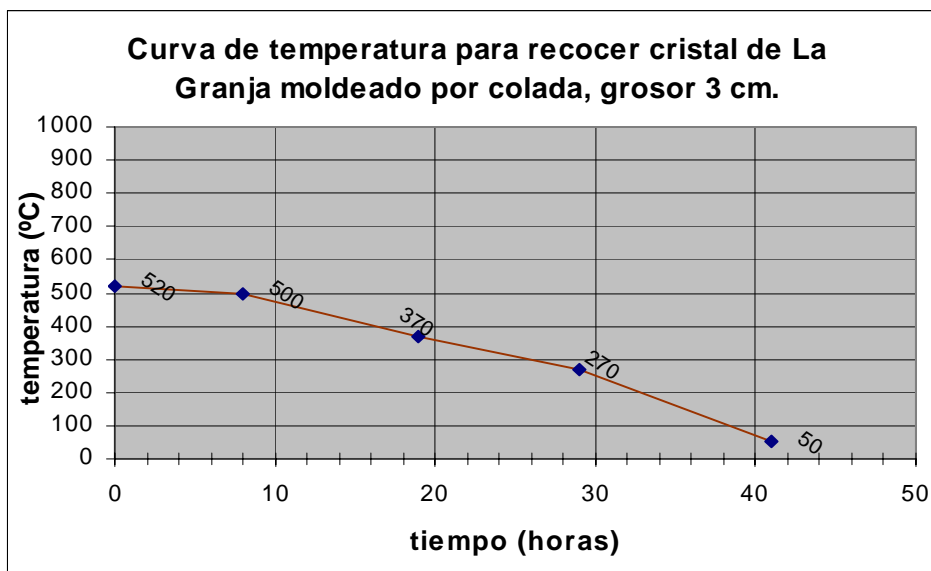
Con los materiales que pueden quedarse pegados al vidrio, como el hierro, conviene tener ciertas precauciones. Cuando quiere utilizarse un objeto de hierro como molde, hay que asegurarse de que tiene salida, o separarlo del vidrio antes de que éste pierda flexibilidad y se quede encajado dentro.

Curvas de recocido.



Una vez moldeada la obra de vidrio, debe enfriarse hasta la temperatura ambiente. El tiempo necesario y la velocidad de enfriamiento dependerán del tipo de vidrio y del grosor de las piezas. Cuando el vidrio es delgado, la temperatura de la superficie externa tarda menos tiempo en equilibrarse con la interna. Por esta razón se requiere menos tiempo de recocido. Cuando el vidrio es grueso, las temperaturas interna y externa se homogeneizan peor, y se

necesita más tiempo de recocido. En los recocidos de vidrio muy grueso, se comienza la curva a una temperatura ligeramente superior a la de recocido: se ablanda primero un poco el vidrio, para relajar las tensiones que pueda haber⁷.



⁷ Estas curvas han sido facilitadas por el CNV para el curso de Ana Thiel, vidrio vaciado en arena, junio 1995. Son para cristal de La Granja (con plomo).

II.1.4. Vidrio trabajado con soplete o candilón.

Esta técnica tiene un origen antiguo, pues es la que se emplea para hacer instrumentos de laboratorio como alambiques, tubos de ensayo, etc. Los alquimistas de la época medieval utilizaban diversos instrumentos de vidrio⁸ para hacer sus experimentos. A partir del s. XVIII se hacen habituales los aparatos destinados a laboratorios, realizados mediante un candilón con una salida de aire accionada por pedales, que hacía la llama más intensa.

Desde mediados del siglo XIX, se inventó un soplete con gas y aire, y a comienzos del siglo XX se sustituyó el aire por oxígeno, para producir una llama homogénea y de alta temperatura. Otra invención que ha contribuido al desarrollo de esta técnica ha sido el vidrio de borosilicato, difundido por la marca comercial Pyrex desde la década de los años 20 del S. XX. Es un tipo de vidrio muy adecuado para el trabajo con soplete, ya que tiene mucha resistencia a los choques térmicos.

El trabajo con soplete o candilón tiene ciertas limitaciones y sólo puede emplearse para crear formas tridimensionales de pequeñas dimensiones, ya que mientras se trabaja una pieza, unas partes están más frías que otras y esto pone a prueba la resistencia a los choques térmicos. Básicamente consiste en calentar en la llama del soplete un vidrio presentado en barra o en tubo, al que se da forma con ayuda de herramientas como tenazas con puntas especiales, paletas y barras de grafito y placas de metal.

El soplete produce distintos tipos de llama; cuanto más oxígeno hay en la mezcla, más puntiaguda es la llama. Si la mezcla tiene mucho gas y mucho oxígeno, la llama es gruesa. Con poco oxígeno y mucho gas, se forma una llama reductora, que puede afectar el color del cristal o vidrio de plomo, volviéndolo grisáceo.

El proceso de trabajo consiste básicamente en acercar el vidrio a la llama hasta que se ablanda. Entonces se realizan con él las diversas operaciones que modificarán su forma. Es necesario girar continuamente el vidrio caliente sobre su eje porque, igual que sucede con el vidrio soplado, si no se hiciera este movimiento giratorio el vidrio se escurriría debido a la fuerza de la gravedad.

Se trabaja con tubos cuando se quiere realizar alguna obra de vidrio hueco. En ese caso, el vidrio se calienta con ayuda de la llama y se realizan las operaciones necesarias de engrosamiento de las paredes, estiramiento, o incluso de soplado. El soplado se realiza cerrando una parte del tubo, y soplando desde el otro extremo (el vidrio sólo está caliente en la zona cercana a la llama, por tanto se puede soplar directamente a través del tubo). Este modo de trabajar es el que se emplea para hacer material de laboratorio, pero se puede traspasar fácilmente al ámbito artístico. Cuando se trabaja con tubos, éstos son casi siempre de borosilicato.

⁸ MIRBECK, X. (1992), pag. 38.



Sally Prash, *Goblet in a Goblet*, 2000. Pieza realizada con la técnica de candilón.

También puede trabajarse con varillas de vidrio para crear diversas formas. En este caso, se modela el vidrio mediante una sucesión de estiramientos, engrosamientos y soldaduras. Las varillas de vidrio que se usan en estas técnicas pueden ser de borosilicato, pero también se utiliza un vidrio sodocálcico blando, de bajo punto de fusión, como el Moretti de Murano. Pueden mezclarse vidrios de varios colores siempre que sean compatibles.



(Izquierda) Cesare Toffolo, *Granelli di Sabia*, 2000.

(Arriba) Vittorio Constantini, *Insectos*. Las obras anteriores se han realizado con la técnica de candilón.

Sea cual sea el procedimiento elegido para trabajar las piezas y el tipo de vidrio empleado, es necesario hacer un recocido. Cuanto más grande es la pieza, mayores precauciones y mayor tiempo de recocido será necesario. Por ejemplo, una cuenta de vidrio de un diámetro de 3 cm. puede recocerse simplemente enterrándola en un material refractario como chamota o sepiolita. Sin embargo, una pieza maciza de una dimensión de más de 10 cm requerirá, en primer lugar, un recocido en el soplete, utilizando una llama humeante (mucho gas y poco oxígeno) que la enfríe progresivamente, para después introducirla en un horno donde haga un descenso paulatino hasta la temperatura ambiente.

II.2. TÉCNICAS DE TRABAJO DEL VIDRIO EN FRÍO.

II.2.1. TÉCNICAS TRADICIONALES DE TRABAJO EN FRÍO.

II.2.2. Grabado en vidrio.

Esta técnica se ha utilizado principalmente para la decoración. Consiste en trazar dibujos en la superficie del vidrio, ya sea éste curvo o plano. Existen tres modos de hacer grabados en el vidrio: grabado directo, grabado al ácido, y grabado al chorro de arena.

Grabado directo

Se realiza con una punta de diamante manual o con una fresa eléctrica.

La punta de diamante consiste simplemente en un alambre rígido de acero, en uno de cuyos extremos hay una forma (de bola, puntiaguda, etc.) recubierta de polvo de diamante o de carburo de silicio. Se introduce en algún soporte que sirva de mango, como un portaminas. El trabajo manual es lento.

La fresa eléctrica es un aparato giratorio (a unas 20.000 revoluciones por minuto) con un portabrocas en el que se pueden introducir tanto puntas de diamante como fresas de carborundum con diferentes formas. Las minitaladradoras pueden convertirse en herramientas de grabado añadiéndoles un brazo flexible.

La punta de diamante crea trazos nítidos, lineales, mientras que las fresas de carborundum se utilizan en plano para crear manchas blancas. Puede graduarse la intensidad para conseguir efectos degradados.

Tanto si se trabaja manualmente como con una herramienta eléctrica, MIRBECK (1992)⁹ recomienda que la mesa de trabajo tenga un fondo oscuro sobre el que puedan contrastar los trazos creados, y una buena iluminación difusa, que no cree brillos. Además de las puntas y fresas que se utilizarán, es necesario tener a mano un trapo o una esponja húmeda para eliminar el polvo de vidrio.

El grabado en vidrio es un proceso de dibujo en negativo: los trazos creados son marcas blancas que corresponden a las luces y no a las sombras. Por esta razón, el modelo se dibuja en una hoja de papel de color negro utilizando un lápiz o una tinta blanca. Esta hoja se fija en la parte de atrás del objeto.

⁹ MIRBECK, X. (1992), pag. 80.

El cristal o vidrio de plomo, más blando, se presta mejor al grabado, aunque otros vidrios se pueden utilizar con distintos efectos. Cuanto más blando es un vidrio, más profunda será la incisión que pueda realizarse sobre él.

Los trazos marcados son diferentes según el tipo de vidrio que se utilice. Cuando el vidrio es transparente (incoloro), la marca creada tiene un color blanco muy marcado, mientras que la parte intacta crea efectos de sombra, al verse a través del objeto de vidrio lo que hay detrás de él. Sin embargo, el vidrio de color, es decir, aquél que ha sido coloreado en masa cuando estaba dentro del crisol, no es bueno para grabar, pues los trazos y las zonas sin marcar tienen el mismo color, y apenas se producen contrastes.

Grabado indirecto con ácido.

Esta técnica también recibe el nombre de mateado al ácido. El único ácido capaz de atacar al vidrio es el ácido fluorhídrico. Se trata de un material muy peligroso, tanto por contacto (puede hacer graves quemaduras en la piel, que aparecen horas después del contacto con el ácido) como por inhalación de vapores. Es necesario utilizar siempre guantes de goma gruesos, máscara antivapores y gafas de plástico.

La técnica consiste en la reserva de ciertas zonas del vidrio, utilizando para ello un barniz de asfalto, para después introducirlo en un baño de ácido. No se usa ácido fluorhídrico puro, pues es tan fuerte que deja marcas irregulares, sino una mezcla de agua, ácido clorhídrico y ácido fluorhídrico a partes iguales¹⁰. Otra mezcla que se suele utilizar para procesos industriales es la siguiente (porcentajes en volumen): 50% de bifluoruro amónico, 10% de sulfato potásico, 6% de ácido sulfúrico, 6% de ácido fluorhídrico, 3% de sulfato amónico, y 25% de agua¹¹.

El baño en ácido se debe hacer en caliente, con el líquido a unos 50°C; es necesario remover continuamente para evitar la formación de cristales de flúor en la superficie del vidrio, pues esto provocaría un ataque desigual. Cada 30 segundos conviene sacar el vidrio del ácido, lavarlo con agua y comprobar si el grado de ataque es el que se deseaba.

Una vez utilizada, la mezcla debe guardarse en un contenedor plástico resistente. Nunca debe tirarse al alcantarillado o a la basura.

Otra forma de trabajo algo menos peligrosa, puesto que evita las salpicaduras es utilizar la mezcla fluorhídrica en una pasta que se extiende con una espátula plástica en la superficie del vidrio.

El ácido fluorhídrico no solo se usa para matear la superficie del vidrio, sino que, en determinadas proporciones, se emplea también para pulir. El primer baño da el aspecto más blanco y mate, mientras que los baños sucesivos provocan en la superficie del vidrio una película translúcida muy fina. Por esta

¹⁰ MIRBECK, X. (1992), pag. 87.

¹¹ Fórmula propuesta por el laboratorio del Centro Nacional del Vidrio de La Granja.

razón, se utiliza con frecuencia como técnica de acabado en algunos procedimientos, como la pasta de vidrio o el casting.

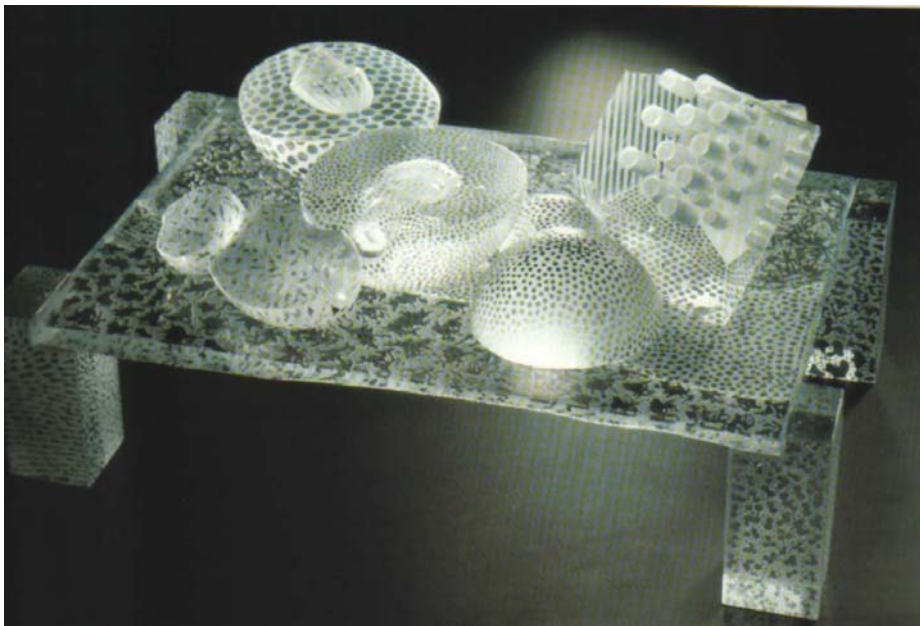
Grabado indirecto mediante arenado.

El chorro de arena gasta la superficie del vidrio, dándole un aspecto mate, más intenso y blanco cuanto más profundo sea el horadado.

Para trabajar con esta técnica es necesario disponer de una arenadora, un aparato compuesto de un compresor de aire y un depósito de arena o carborundum; una pistola expulsa la mezcla de aire y abrasivo.

Es necesario disponer además de una cabina de arenado, que consiste en un espacio estanco con un depósito para el carborundum usado y el polvo de vidrio, por una parte, y un extractor de polvo por otra. Esta cabina tiene un cristal a través del cual se puede observar el proceso, y unos guantes con manga que comunican con el exterior, y a través de los cuales se manipula el vidrio y se dirige el chorro. Cuando se quieren arenar objetos muy grandes, es necesario disponer de una cabina en la que se pueda entrar con una escafandra de protección estanca.

El trabajo de arenado, igual que el mateado al ácido, consiste en reservar una parte del vidrio, que continuará siendo transparente, y dirigir el chorro de arena a las partes que no están protegidas. Las reservas pueden hacerse con papeles y plásticos adhesivos (la cinta de pintor es muy útil) que se recortan una vez fijadas al vidrio con ayuda de un cortador o un bisturí. Este tipo de reservas crean zonas mates de contornos muy nítidos. También puede utilizarse como material de reserva una goma que, una vez seca, sea flexible y espesa, lo que permite crear efectos más pictóricos.



Oiva Toikka (Helsinki, 1931), *La visita de una vieja*, 1995. Vidrio claro cristalino vaciado grabado con arena.

Cualquiera de las técnicas de grabado descritas hasta ahora pueden hacerse sobre un vidrio doblado, es decir, un vidrio cuya superficie sea de distinto color que la capa más profunda, consiguiendo diferentes tonos y matices del mismo color, o contrastes fuertes. Esta técnica se utilizó ya en la antigüedad: el vaso romano de Portland, del año 25 a.C., expuesto en el Museo Británico¹², y cuya foto aparece en la introducción histórica de esta tesis¹³, es un ejemplo de esta técnica. Más recientemente se ha empleado esta forma de trabajo en los vasos Art Nouveau¹⁴ y en la escultura en vidrio contemporánea.



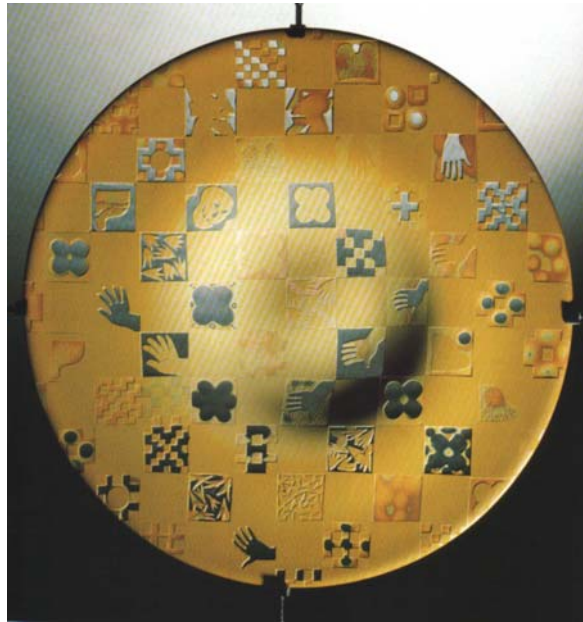
(Izquierda) Vaso Camafeo de Gallé, hacia 1890.

(Arriba) Vaso Camafeo de Tiffany, hacia 1910.

¹² WILSON, D.M. (1989) pag. 276.

¹³ Véase p. 34.

¹⁴ HAWORTH-MADEN, C. (1999), pag. 21, y POTTER, N. y JACKSON, D. (2000), pag. 39.



Kerttu Numinen, *Basilica*, 1998.

II.2.3. Corte de vidrio

Además del tradicional método manual, descrito en el capítulo *Técnicas de fusión en relieve y de fusión total*, consistente en marcar la superficie del vidrio con una rulina para después abrir un corte y separar los dos fragmentos, existen distintos tipos de máquinas que son interesantes para cortar formas curvas en vidrio plano, vidrios muy gruesos o vidrios huecos.

Hay sierras de cinta, dotadas de una banda diamantada y refrigeración que permiten hacer cortes curvos; otras son las circulares, también con discos de diamante refrigerados con agua, que hacen cortes rectos con gran precisión. En ambos sistemas, el aparato suele estar fijo en una mesa de trabajo y es el vidrio el que se desplaza para ser cortado.

Puede adaptarse para su uso en vidrio una radial fija, de las que se utilizan para cortar ladrillos y azulejos. Para ello hay que sustituir el disco por uno de diamante continuo. Sirve para cortes rectos y cortes de barras de murrinas y prefusiones¹⁵.

¹⁵ LUNDSTROM, B. y SCHWOERER, D. (1983), pag. 96. Estos autores no indican en su propuesta de adaptación de una radial a su uso como sierra para vidrio la necesidad de incluir algún sistema de refrigeración con agua. Si el vidrio no está refrigerado, se puede producir un choque térmico que lo rompa, y si la hoja de sierra no está refrigerada, puede llegar a vidriarse (embotarse con vidrio caliente adherido a las partículas de diamante).

II.2.4. Talla de vidrio

Tallar el vidrio es quitar una parte mediante una acción abrasiva. Aunque se habla de talla de vidrio cuando la cantidad extraída es bastante grande como para causar relieve, la distancia entre grabado y talla es a veces muy sutil. Los efectos camafeo mencionados más arriba, aunque suelen clasificarse entre las técnicas de grabado, producen en realidad bajorrelieves.

La talla se suele efectuar con máquinas, generalmente tornos dotados de discos abrasivos que tienen distintos perfiles y granulometrías. Cuando el vidrio roza esos discos giratorios, el carborundum que tienen produce en la superficie del vidrio diminutas fracturas que lo desgastan, creando además un efecto mate. Se utiliza agua para refrigerar el vidrio y evitar que se recaliente.

El proceso de trabajo es el siguiente: en primer lugar, se hace la talla más basta con una granulometría de al menos 80. De este modo, el vidrio se desgasta rápidamente y adopta la forma que queremos darle. El vidrio tiene un aspecto mate y opaco. A continuación se van utilizando granulometrías cada vez más finas (desde 120 a 600) para darle un acabado más fino y eliminar las rayas causadas por el desbastado. El vidrio adquiere un aspecto cada vez más traslúcido y satinado. Si se desea, se puede pulir el vidrio.



Vaso grabado con rueda,
Caspar Lehman, Praga 1605.

Los tipos de máquinas más utilizadas para tallar y pulir son:

- Tornos con ruedas de distintos tipos, desde las de cobre con granos abrasivos y agua que van cayendo sobre la rueda, a las de carborundum y las de diamante. Pueden ser de diferentes diámetros y perfiles, y permiten dejar distintos tipos de huellas sobre el vidrio.



Torno para la talla de vidrio. En este momento no tiene montado ningún disco.

- Platinas, que consisten en una rueda horizontal generalmente de acero o hierro fundido, que gira sobre su eje. Está dotada de un bebedero que vierte sobre ella continuamente una mezcla de carborundum y agua. La pieza de vidrio se sujeta con las manos contra la superficie horizontal de la rueda. El principal problema de este tipo de máquinas es que se tiene que limpiar completamente el carborundum más grueso antes de pasar al más fino: si quedase un solo grano mezclado con el más fino, causaría rayas tan gruesas que sería necesario repetir todo el proceso. Como solución, se han creado discos de carborundum o incluso de diamante que pueden fijarse sobre la rueda; como no desprenden granos de carborundum no es necesario tomar tantas precauciones. Este tipo de máquinas sirven únicamente para hacer superficies planas en el vidrio; no se pueden hacer curvas cóncavas y es bastante difícil que las curvas convexas no queden con zonas aplanadas.

Las platinas suelen ser máquinas muy grandes (las ruedas estándar tienen unos 60 cm de diámetro), aunque en los últimos años se están creando platinas más pequeñas (entre 12 y 30 cm de diámetro), para uso artesanal. Sin embargo, es necesario reconocer que sólo las platinas grandes son interesantes para la escultura de tamaño medio o grande, porque en las pequeñas no puede apoyarse todo el plano que es necesario trabajar. En la Escuela del Centro Nacional de Vidrio de La Granja han adaptado tornos de alfarero para usarlos como pequeñas platinas.



Torno de alfarero dotado con un disco liso (el del torno, debajo de aquél, está labrado con circunferencias concéntricas), que se usa como pequeña platina.

- Lijadoras de banda verticales para vidrio, con una banda de lija refrigerada con agua que puede cambiarse con facilidad para tener distintas granulometrías (incluso bandas de corcho para el pulido con pómez). Es más versátil que la platina, puesto que no sólo permite crear planos, sino también curvas cóncavas.

II.2.5. Pulido del vidrio

Mediante el pulido, el vidrio recobra su apariencia transparente y brillante. La operación de pulido puede hacerse con las mismas herramientas que se usaban para la talla, pero dotadas de una superficie o un disco adecuados.

El proceso de pulido se lleva a cabo en dos fases: en la primera, se utiliza una rueda de corcho (o una banda de corcho) con agua y piedra pómez, hasta que el vidrio esté transparente aunque no brillante. Suele tener una apariencia algo turbia, como ahumada. Para darle todo su brillo y transparencia se utiliza una rueda de fieltro con óxido de cerio.

El pulido puede realizarse a mano. En muchas superficies curvas es casi obligado hacerlo así, puesto que no hay ninguna máquina que permita salvar ciertos ángulos. Pueden utilizarse lijas al agua o unas lijas especiales de mano, con polvo de diamante de granulometría desde 120 a 400. Un vidrio plano o una superficie de corcho impregnada en una papilla de pómez en polvo y agua puede servir para pulir superficies planas, frotando el vidrio sobre ellas.

Una pequeña herramienta puede ser una ayuda para el pulido de curvas convexas poco complejas. Una minitaladradora dotada de una extensión flexible, con un accesorio de disco de goma sobre el que puedan fijarse discos de lija al agua, de corcho o de fieltro servirá para piezas pequeñas.

El proceso de pulido es largo, y cualquier impureza en las ruedas puede causar rayas. Muchos artistas tienen estancias separadas para tallar y para pulir, incluso se cambian la ropa para entrar en la sala de pulido, evitando así que un grano de carborundum caiga en la mezcla de pulido.

Otros procedimientos de pulido son los que utilizan ácido (ya se explicó más arriba que el ácido fluorhídrico en baños sucesivos causa una apariencia fina y traslúcida), y el pulido mediante calor, utilizando las llamas de un soplete para vidrio o un horno.

II.2.6. Pegamentos especiales para vidrio

Cuando se quieren pegar varias piezas de vidrio en frío, pueden utilizarse diversos tipos de pegamentos. Algunos son pegamentos que necesitan la ayuda de rayos ultravioleta para polimerizarse; sin embargo, estos pegamentos tienen ciertas limitaciones puesto que no sirven con vidrios coloreados, vidrios opacos o vidrios de borosilicato.

Otros pegamentos están basados en las resinas epoxi de dos componentes o en las siliconas. En cualquier caso, deben cumplir los siguientes requisitos:

- Transparencia. No deben tener ningún color que modifique el del vidrio, y no debe volverse opaco con el paso del tiempo.
- Resistencia y elasticidad: no debe encogerse con el paso del tiempo para no provocar tensiones.
- Fluidez y facilidad para eliminar bolsas de aire.

Estos pegamentos se utilizan en algunas técnicas de vidrio laminado, para unir varias hojas de vidrio entre sí antes de tallarlas, o en las técnicas de fusión o vidriera, cuando las obras de vidrio deben estar en espacios arquitectónicos en los que sea necesario prevenir una posible rotura; en ese caso, se coloca la pieza entre dos hojas de vidrio transparente y se fija con un pegamento

elástico, que llena los huecos entre los vidrios al tiempo que sostiene unidas las piezas.

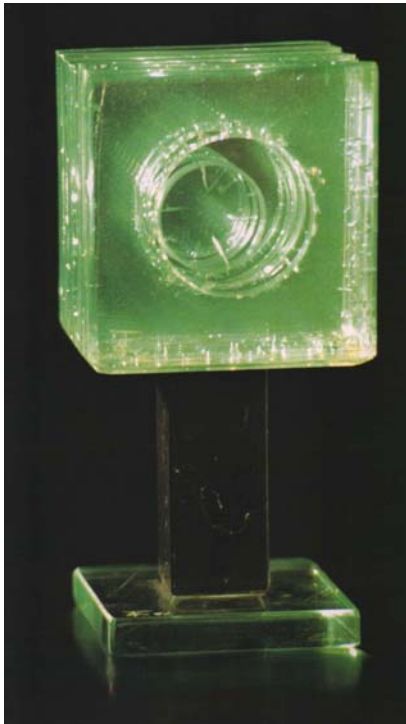
II.2.7. Las distintas aplicaciones de las técnicas tradicionales de trabajo del vidrio en frío.

Pueden utilizarse como complemento de otras técnicas de trabajo del vidrio en caliente. En unos casos se utiliza para eliminar partes de la obra, como cuando se soplan esculturas y se corta la calota o parte superior de la burbuja. También puede tallarse o arenarse una obra soplada para conseguir cierto acabado. En las obras creadas por colada, generalmente será necesario un proceso de trabajo en el que se pula alguna de las caras para volverla más transparente y permitir ver el interior del vidrio. En las técnicas de fusión, el corte y el pulido puede emplearse para dar a una obra fundida una forma determinada. Hay artistas como Klaus Moje que, una vez fundida una pieza, la cortan, la reordenan cambiando las partes de sitio, y la vuelven a fundir. En las técnicas de pasta de vidrio y casting se utiliza muchísimo el pulido para eliminar los restos del molde pegados a la superficie del vidrio, para rematar las superficies irregulares de la base de los moldes abiertos, o para crear superficies planas y pulidas que permitan ver el interior del vidrio.

Son también muchos los procedimientos artísticos que utilizan como técnicas únicas o principales las de trabajo en frío. Entre estos procedimientos quiero destacar los siguientes:

- **Vidrio laminado.**

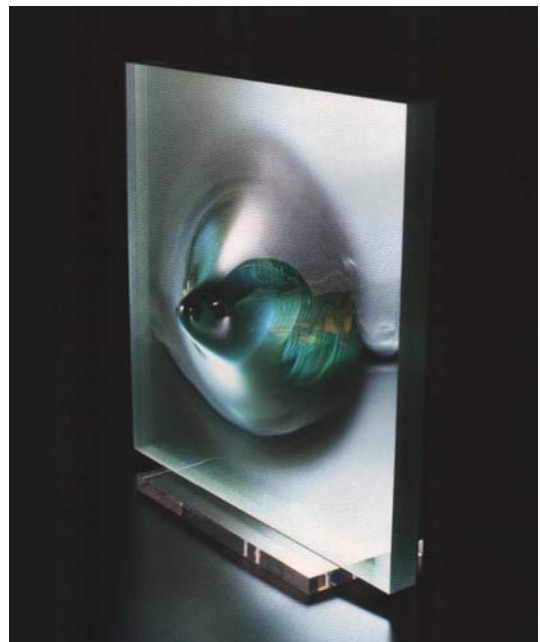
Este procedimiento consiste en pegar varias láminas de vidrio plano para crear diferentes formas escultóricas. Algunas variaciones de este procedimiento son: el simple corte y pegado posterior de las piezas; la talla de cada uno de los elementos antes de encolarlos, y una tercera forma de trabajar es pegar todas las láminas para formar un bloque al que después se da forma mediante el tallado y el pulido.



Izquierda: Joaquín Torres Esteban, Sin título, 1981. El vidrio está simplemente cortado y pegado.
Derecha: Javier Gómez, Buscando en el espacio, 1999. El vidrio ha sido cortado, pegado y pulido; posteriormente se han añadido más piezas para crear movimiento



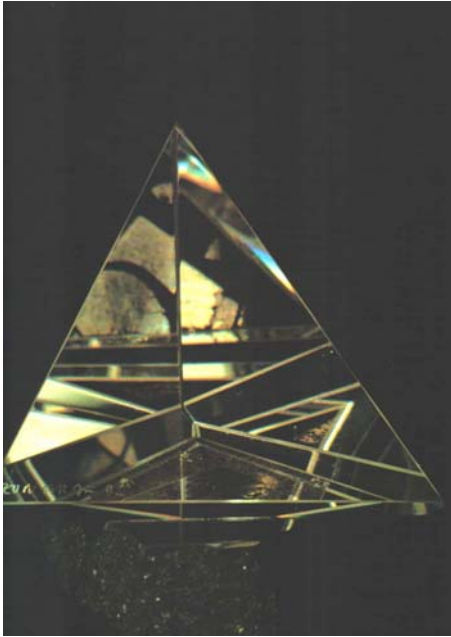
María Lugossi, Nacimiento de Venus, 1996.
Laminado y chorro de arena.



Toshio Iezumi, *Deppari*, 1994. Vidrio laminado y pulido.

- **Trabajo con vidrio óptico.**

El procedimiento de trabajo es similar al del vidrio laminado, pero se utilizan bloques de vidrio óptico de gran calidad, con unas propiedades de transmisión de la luz especiales. Se tallan en formas geométricas y prismáticas muy definidas. Esto provoca ciertos reflejos y efectos internos que no se pueden lograr con otros tipos de vidrio.



Jiri Karel, *Sin título*, 1993. Vidrio óptico cortado y pulido.



Jan Zoritchak, *Sin título*, 1992. Vidrio óptico cortado y pulido

- **Talla.**

Se pueden tallar bloques de vidrio como técnica escultórica única, en vez de ser complemento de otras técnicas.

Wojciech Olech, *Árbol Tallado*, 1989.



El escultor veneciano Luciano Vistosi utiliza una técnica de talla de su invención que me parece destacable. Las fábricas de vidrio plano anteriores a los años 80 del siglo XX tenían unos hornos para fundir el vidrio muy grandes, como piscinas, que era necesario renovar cada cierto tiempo. En varias ocasiones este escultor, cuando una de estas fábricas de vidrio plano iba a cerrar uno de sus hornos, compró todo el vidrio que había dentro, le dio color con determinados pigmentos, y mantuvo el horno enfriándose durante varios meses, con una curva de descenso de la temperatura estudiada para que el vidrio al enfriarse se fracturase en grandes pedazos (cuanto más rápidamente se enfría una masa de vidrio, más pequeños son los trozos). De este modo, cuando el vidrio estaba totalmente frío, tenía su “cantera” particular de trozos enormes de vidrio, que luego podía tallar como si de piedra se tratase.



Luciano Vistosi tallando un bloque de vidrio.

I.2.8. OTRAS TÉCNICAS DE TRABAJO EN FRÍO

Igual que otros muchos materiales, el vidrio se está utilizando en el arte actual de numerosos modos, entre los que podemos incluir las construcciones con vidrio plano, basadas en la arquitectura, las instalaciones y los ready made.

Aunque esta tesis no se ocupará de ellas, es obligado citar las técnicas que a lo largo de los siglos se han ocupado de la creación de vidrieras, y que han ido evolucionando desde las formas tradicionales más pictóricas hasta las nuevas vidrieras en las que cuestiones como relieve, textura y volumen han adquirido cada vez más importancia.



Nacho Criado, *Ellos no pueden venir esta noche*.
Vidrio, hierro, fibra de plástico, nylon, zinc. Instalación en el
Palacio de Cristal del Retiro, 1991.

III.

Utilización del horno cerámico y del horno de fusión. Creaciones escultóricas con las técnicas de fusión.

III. 1. UTILIZACIÓN DEL HORNO. PRUEBAS PREVIAS

III.1.1.1. Introducción

Un horno cerámico normal permite la creación de obras escultóricas en vidrio utilizando varias técnicas diferentes. Es una instalación relativamente asequible en cuanto a costo y características técnicas. El horno cerámico es muy apropiado para realizar obras de pasta de vidrio y de *casting* o moldeado en molde abierto, y puede adaptarse también para fusión total o en relieve y termoformado. Incluso pueden realizarse, con muchas limitaciones y precauciones, intentos de moldeado en arena, soplado o trabajo en caliente, fundiendo el vidrio en un pequeño crisol dentro del horno.

Al mismo precio que el horno cerámico descrito, podemos hallar hornos pequeños especialmente preparados para la fusión de vidrio plano, que reúnen algunas características técnicas específicas. Las técnicas de fusión y termoformado, que utilizan preferentemente vidrio plano, dan mejores resultados en estos hornos (también llamados hornos de *fusing*). Suelen tener forma de “cofre”. En ellos, el calor llega desde arriba y de esta manera se reparte más uniformemente en las obras planas. Además, presentan un revestimiento de fibra cerámica en vez de usar ladrillos refractarios, que permite un control mejor de los calentamientos y enfriamientos rápidos que estas técnicas exigen entre los 600° y los 850° C para evitar las desvitrificaciones.

A diferencia del horno cerámico, que permite realizar otra variedad de técnicas, el horno para fusión plantea dificultades para trabajar con arcilla (no está preparado para superar los 900°C), y tampoco permite trabajar con técnicas de casting o pasta de vidrio a no ser que éstas sean de pequeño tamaño, pues la altura interior es de 30 cm. Por otra parte, el calor en las obras con volumen no se repartiría uniformemente. La parte de arriba, mucho más cercana a las resistencias, estaría recibiendo más calor que la de abajo.

Respecto al horno cerámico, es suficiente uno eléctrico que tenga resistencias laterales (mejor aún si además las tiene en la solera y la puerta) porque permitirá un reparto uniforme del calor en las obras de vidrio, evitando problemas de choque térmico.

Para las pruebas que se describen a continuación¹ se ha utilizado un horno cerámico de las siguientes características²:

¹ Otras pruebas realizadas con un horno para fusión de vidrio se describen al final de este capítulo.

² Según datos facilitados por el fabricante, Hornos Molina S.L.

Capacidad: 88 litros
Medidas interiores: 400 x 400 x 500 mm
Temperatura máxima de utilización: 1300°C
Potencia: 6500 vatios
Tensión: 220 voltios
Resistencias en laterales y suelo.
Programador digital de 18 rampas y 18 mesetas con 9 programas
Revestimiento de ladrillo refractario aislante en cara vista, y fibra cerámica en segunda capa

III.1.1.2. Principales pruebas que se deben realizar en el horno.

Los mapas térmicos

El primer objetivo de las pruebas de horno, de cara al trabajo con vidrio, es hacer un *mapa térmico* del horno para conocer las zonas frías y las zonas calientes. De este modo podremos distribuir las obras de manera que:

- **Exista homogeneidad térmica:** una misma obra de vidrio no debe estar expuesta a temperaturas diferentes de manera simultánea, porque el choque térmico podría romperla
- **Podamos distribuir las obras en función del resultado esperado.** Si van a cocerse varias obras simultáneamente, podemos situar en las zonas más calientes obras más gruesas y en las más frías obras más finas, o bien las obras destinadas a fusión total se sitúan en zonas calientes y las destinadas a fusión en relieve en zonas más frías.
- **Las zonas excesivamente frías o excesivamente calientes puedan ser solucionadas,** situando protecciones de fibra cerámica en lugares estratégicos, en función de dónde coloquemos las obras para cocer.

Por otra parte, el *mapa térmico* debe ser considerado en varios intervalos de temperatura diferentes que tengan un papel significativo en la cocción del vidrio. Podría suceder que un horno que es homogéneo a los 800° C no lo sea a los 500° C, y viceversa. Se suele hacer un *mapa térmico* del horno a los 500° C porque entre los 500° y los 600° suelen situarse varias cifras de temperatura importantes para el vidrio: la temperatura de reblandecimiento, la de recocido y el punto de estrés. Entre los 800° y los 900° C se sitúa el momento en el que el vidrio alcanza el estado de fluidez necesario en la técnica de fusión para que varias láminas de vidrio plano se fundan en una sola. Es la temperatura necesaria también en las técnicas de pasta de vidrio y de casting para que las diversas partículas de vidrio en polvo o en trozos se unan unas a otras formando una sola masa líquida.

III.1.1.3. Las temperaturas críticas de cada tipo de vidrio

Aunque varios manuales pueden ofrecernos información acerca de temperaturas de reblandecimiento y de fluidez estándar para los distintos tipos de vidrio, es totalmente necesario testar estas cifras para cada vidrio y en cada horno, pues las fábricas de vidrio varían en ocasiones la composición de sus vidrios sin previo aviso, alterando así su comportamiento térmico. Además nuestro equipo pirométrico puede variar su lectura respecto a los de otros hornos, en función de su situación o de sus características específicas.

A este respecto, es necesario hallar antes que nada la temperatura de reblandecimiento de determinado tipo de vidrio que vaya a utilizarse (incluso antes de hacer el mapa térmico, puesto que debemos partir de este dato para elaborar las curvas de temperatura), y después hacer pruebas para cada técnica específica. En el caso de las técnicas relacionadas con la fusión de hojas de vidrio plano (fusión o *fusing*, termoformado o *slumping*, *sagging*, *drapping*...) es necesario valorar cuál es la temperatura del vidrio concreto que vaya a usarse (de ventana o *float*, o bien *compatible* de diferentes marcas, como Bullseye, Uroboros, Wasser, Spectrum...) en dos momentos distintos: el de termoformado, algo por encima de la temperatura de ablandamiento y el de fusión en relieve y total, cercano a los 800°C.

Varios resultados de una sola prueba

El trabajo con vidrio es tan caro que resulta conveniente realizar varias pruebas en una sola hornada. En algunos de los tests que describiré se ha hecho así, consiguiendo datos relevantes para establecer el mapa térmico del horno, al mismo tiempo que se experimentaban los comportamientos del vidrio float a diferentes temperaturas.

Las pruebas que describiré para determinar el mapa térmico del horno y las temperaturas críticas del vidrio que se va a utilizar son derivadas de las técnicas de fusión y de termoformado. Aunque son de gran ayuda para obtener los datos básicos respecto a las características del horno y del vidrio *float*, están especialmente indicadas para preparar el trabajo con vidrio plano. Existen otras pruebas específicas para otros procedimientos de trabajo en vidrio, como casting o pasta de vidrio que serán expuestas más adelante, en los capítulos dedicados a estas técnicas³.

³ Véase p. 418 y siguientes.

III.1.2. TEST DE REBLANDECIMIENTO

En la introducción adelantamos que este es el test previo a los demás, porque nos sirve para establecer las temperaturas críticas del vidrio con el que vamos a trabajar, flotado o *float*, es decir, de ventana. De este modo podemos programar las curvas de temperatura más propicias para realizar el resto de las pruebas.

III.1.2.1. Objetivo del test

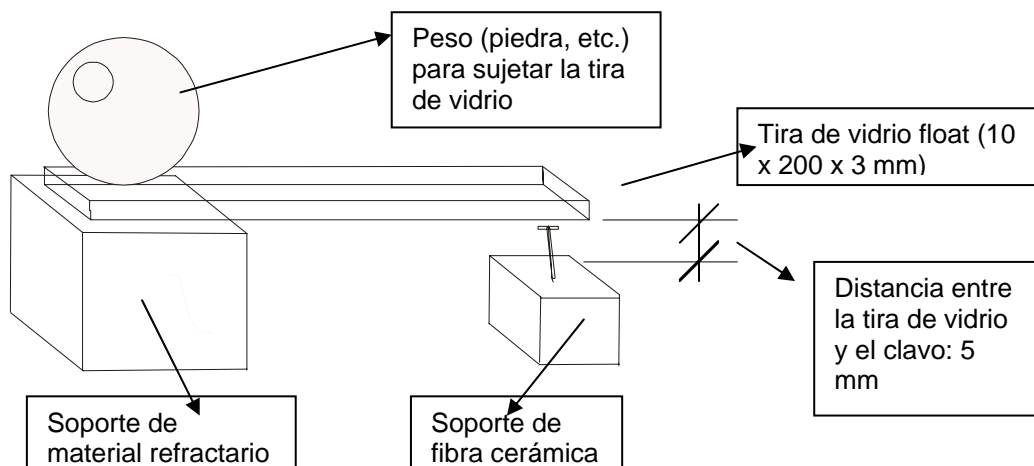
Averiguar a qué temperatura se deforma el vidrio. Esto nos indica que los lazos entre las partículas que forman la estructura vítrea están comenzando a relajarse, a hacerse más elásticos y comportarse como un líquido. El aspecto aún no es líquido, pero el comportamiento interno comienza a ser el de aquél. A partir de esta temperatura, en ascenso, no se producirán choques térmicos que puedan romper las obras. También a partir de esta temperatura se producirá el termoformado.

Por otra parte, a partir de esta temperatura, pero en descenso, hay que evitar como sea los enfriamientos rápidos porque podrían producir la rotura de la obra en vidrio. Este test, por tanto, nos permite situar los intervalos de temperatura críticos que es necesario conocer para trabajar el vidrio.

III.1.2.2. Desarrollo de la prueba

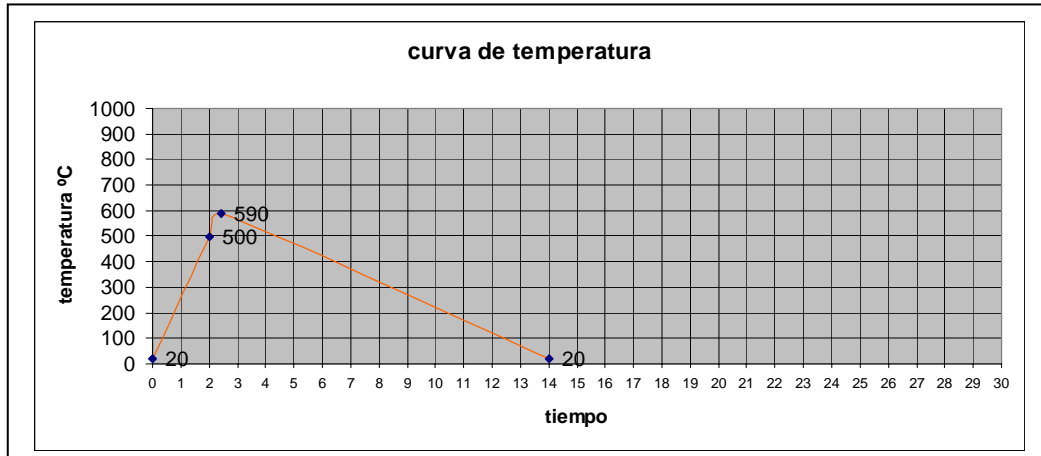
Existen varias formas usuales de este test. Utilizaré la más simple para determinar el punto de ablandamiento y la más compleja resultará útil para establecer el mapa térmico del horno. La segunda se describirá en el siguiente capítulo.

Esta prueba consiste en colocar una tira del vidrio que se va a testar en un soporte, de manera que quede a unos 5 mm de un clavo de hierro, que se fija en otro soporte y es usado como testigo. Cuando la temperatura sea suficiente para ablandar el vidrio, la tira se doblará tocando el clavo. Debe realizarse esta prueba mirando por la mirilla del horno, puesto que entre los 100° y la temperatura de reblandecimiento no debe abrirse la puerta, para evitar enfriamientos desequilibrados y roturas. Esquema de la prueba:



Hay que elevar la temperatura aproximadamente 5°C cada minuto; esta velocidad es adecuada para piezas de vidrio pequeñas y permite hacer la prueba con una curva relativamente rápida. A partir de los 500°C, se observa a través de la mirilla para determinar cuál es la temperatura en la cual el vidrio se deforma hasta tocar el clavo.

Esquema de la curva utilizada para esta prueba:



Se cargó el horno con tres de estas tiras de prueba, teniendo en cuenta que, al menos una de ellas, debía quedar a la altura de la mirilla para poder observar el momento en el que el vidrio y el clavo se tocaban. Las otras dos servirían como testigos, para ver si la temperatura era o no homogénea dentro del horno.



En la experiencia realizada, el vidrio se curvó a **590⁴**. Consideraré que esa es la temperatura de reblandecimiento. Llamaré a esta temperatura **T**, para

⁴ Esta prueba se repitió un mes más tarde, tapando la mirilla del horno con material refractario, con los mismos resultados.

poder expresar las ecuaciones que se muestran más abajo, ya que mediante la resta de determinadas constantes se calculan otras temperaturas importantes como el intervalo de recocido o de estrés. Se hace mediante las siguientes operaciones:

Temperatura superior de recocido, $R = T - 30$

Se calcula restando 30 a la cifra en la que la tira de vidrio tocó el clavo. Es una constante. En nuestro caso:

$$590 - 30 = 560$$

Punto de recocido, $A = R - 20$

(Annealing point) Esta temperatura se halla 20°C por debajo de la de ablandamiento. En nuestro caso:

$$560 - 20 = 540$$

Temperatura inferior de recocido, o punto de estrés,

$$S = A - 30$$

(Strain point) Al descender la temperatura, el punto de estrés es aquel en el que se producen tensiones definitivas en el vidrio, a no ser que se enfríe lentamente. En nuestro caso:

$$540 - 30 = 510$$

El vidrio, al disminuir la temperatura en el horno, está más caliente que el pirómetro. Conviene considerar 20° más de margen y tomar como zona de estrés la comprendida entre **510° y 490° C.**

Estos datos y cálculos aparecen en varios manuales consultados acerca de técnicas con vidrio plano. Fórmulas similares son recomendadas y aplicadas con éxito por artistas de *fusing* de reconocido prestigio, como Miriam di Fiore o Chantal Royant. Existen pequeñas variaciones que expondré a continuación.



Cálculos recomendados por MOORMAN⁵

La autora propone un test similar al que realicé y una vez establecida la temperatura de reblandecimiento, sugiere estos cálculos:

- Restar **33** a la temperatura de reblandecimiento (STP, Slump Point Test) para obtener la **temperatura superior de recocido** (UAP, Upper Annealing Point)
En nuestro caso, ésta sería:
 $590^{\circ} - 33 = 557^{\circ}$
- Restar nuevamente **40** a UAP para obtener el **punto de recocido** (AP, Annealing Point)
Tendríamos lo siguiente:
 $557^{\circ} - 40 = 517$
- Bajando otros 40 grados encontraríamos la **temperatura inferior de recocido** (SP, Strain Point)
Esto supondría:
 $517^{\circ} - 40 = 477$

Cálculos recomendados por Chantal Royant

A partir del establecimiento del punto de reblandecimiento, se realizan estos cálculos:

- Restar **33** a la temperatura de reblandecimiento para obtener la **temperatura superior de recocido**.
Nos hallamos ante lo siguiente:
 $590^{\circ} - 33 = 557^{\circ}$
- Restar nuevamente 52 a la temperatura anterior, para obtener el punto de tensión, o **temperatura inferior de recocido**.
Obtenemos este dato:
 $557^{\circ} - 52 = 505$

⁵ MOORMAN, S. (1990) p. 23 y sgtes.

Ninguna de estas fuentes justifica las ecuaciones que propone, ni explica cuál es el fundamento de las cifras que se restan, a las que llaman según los casos *constantes* o *normativas*. Aseguran su buen funcionamiento, corroborado por la experiencia profesional.

TABLA COMPARATIVA DE TEMPERATURAS RELEVANTES SEGÚN DIFERENTES METODOS DE CÁLCULO

	Punto de reblandecimiento	Temperatura superior de recocido	Punto de recocido	Temperatura inferior de recocido
FIGURE	590	560	540	490
MOORMAN	590	557	517	477
ROYANT	590	557	-	505

Las coincidencias son lo bastante destacables en la *temperatura superior de recocido* como para considerar que este es un cálculo fiable. Resulta alarmante, sin embargo, notar que el *punto de recocido* varía notablemente según diferentes cálculos, sobre todo teniendo en cuenta que en este punto hay que hacer una larga meseta para ayudar a deshacer las tensiones que ha adquirido el vidrio al transformarse y fusionarse a más alta temperatura. Si no se mantiene la temperatura constante en ese punto, las tensiones necesitarán mucho más tiempo para relajarse⁶. La *temperatura inferior de recocido* está alrededor de los 490 grados, aunque también varía notablemente. El intervalo de recocido más seguro, por tanto, se hallaría entre los 560 y los 480 grados.

De los diferentes cálculos expuestos podemos concluir que en el vidrio artístico se trabaja de un modo bastante empírico, obteniéndose los datos relevantes de manera aproximada, prácticamente por ensayo-error.

Si recurrimos a la literatura científica especializada, hallamos ciertas fórmulas y procedimientos para establecer estos puntos críticos en las curvas de temperatura del vidrio. Sin embargo, en muchos casos están previstos para los laboratorios de las industrias y requieren infraestructura de laboratorios especiales y conocimientos químicos fuera del alcance de la mayoría de los artistas. En estas ecuaciones se tienen en cuenta factores importantes, como el espesor del vidrio, su composición, su coeficiente de dilatación, etc.

⁶ FERNÁNDEZ NAVARRO (1990) indica que “a la temperatura correspondiente al punto inferior de recocido se requiere un tiempo de 16 horas para relajar las tensiones, y a la temperatura del punto de recocido este tiempo se reduce a 15 minutos.” P. 338.

III.1.3. TEST DE TERMOFORMADO.

Homogeneidad de la temperatura del horno en el intervalo 600°-700° C.

El intervalo de temperatura entre los 600° y los 700° es aquel en el que se realizan técnicas de volumen con vidrio plano, conocidas genéricamente como termoformado. Consisten en modificar la forma de una hoja plana de vidrio llevando la temperatura más allá del punto de reblandecimiento⁷, utilizando para ello la fuerza de la gravedad, de manera que el vidrio se adapte a moldes de diversos tipos.

III.1.3.1. Objetivo del test

Una vez establecido el punto de reblandecimiento del vidrio *float* en este horno, en torno a los 590°C, se trata de investigar cuál es la temperatura en la que se produce mayor termoformado y cuáles son las zonas frías y calientes del horno en este intervalo de temperatura. Con estos datos podremos obtener información adecuada para diseñar las curvas de temperatura destinadas a termoformado. También nos servirá para averiguar en qué zonas del horno se deforma el vidrio con mayor o menor profundidad.

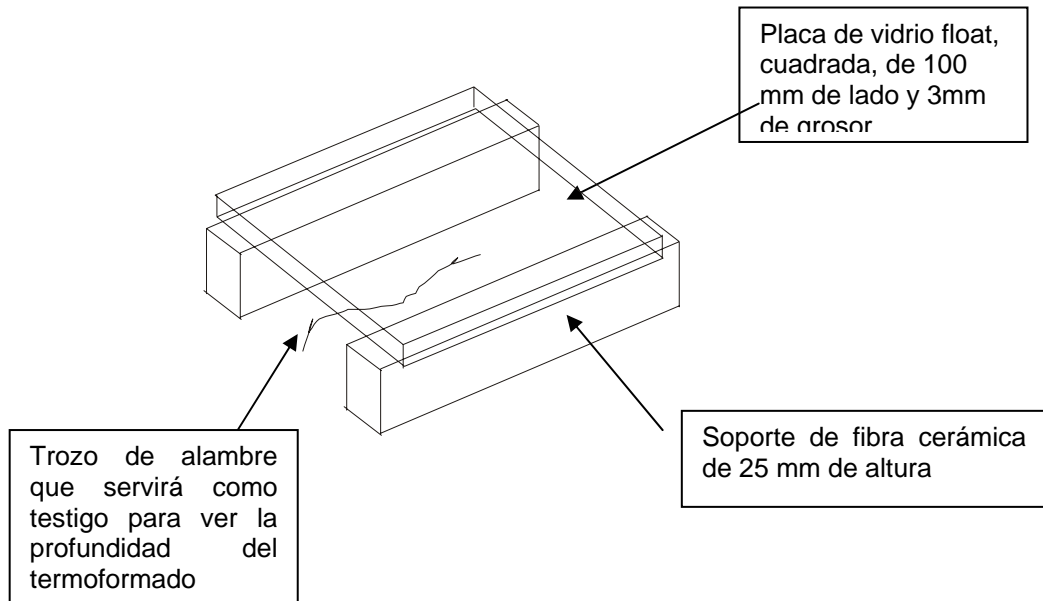


III.1.3.2. Desarrollo de la prueba

Como ya se adelantó en el capítulo destinado a la prueba de reblandecimiento, existe otro método algo más complejo que el allí descrito para averiguar cuál es la temperatura de reblandecimiento y, de paso, qué zonas del horno son calientes y frías. En esencia, la prueba es parecida; consiste en observar a qué temperatura el vidrio alcanza la deformación deseada. Si para el punto de reblandecimiento la deformación apropiada era de sólo 5 mm, ahora se le pedirá no sólo que se deforme 2,5 cm, sino también que se adapte a la forma de un molde. Por tanto, la temperatura y el tiempo requeridos son mayores.

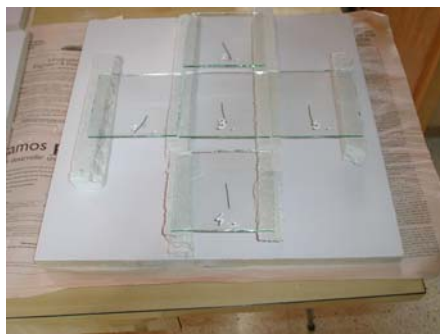
⁷ Ver epígrafe *Test de reblandecimiento*.

En esquema, esta es la preparación de la pieza de vidrio⁸:



Como una de las motivaciones principales de este test es hacer el mapa térmico del horno, situaremos estas placas de prueba en distintas zonas y a varias alturas, tratando de cubrir la mayor área posible. Las bandejas del horno deben protegerse con una imprimación que evite que el vidrio, al ganar fluidez, se quede pegado a ellas. En este caso se ha utilizado un separador comercial, *Shelf Primer* de *Hot Line*.

En la fotografía puede verse una de las tres bandejas que se introdujeron en el horno a diferentes alturas. Los espacios sin cubrir por el vidrio se reservaron para los soportes de las otras bandejas. En la imagen se aprecian, además, los trozos de fibra cerámica de 25 mm de altura que se usaron para termoformar el vidrio y los testigos de alambre. Además, cada una de ellas está numerada con un producto que no se borre a altas temperaturas⁹.

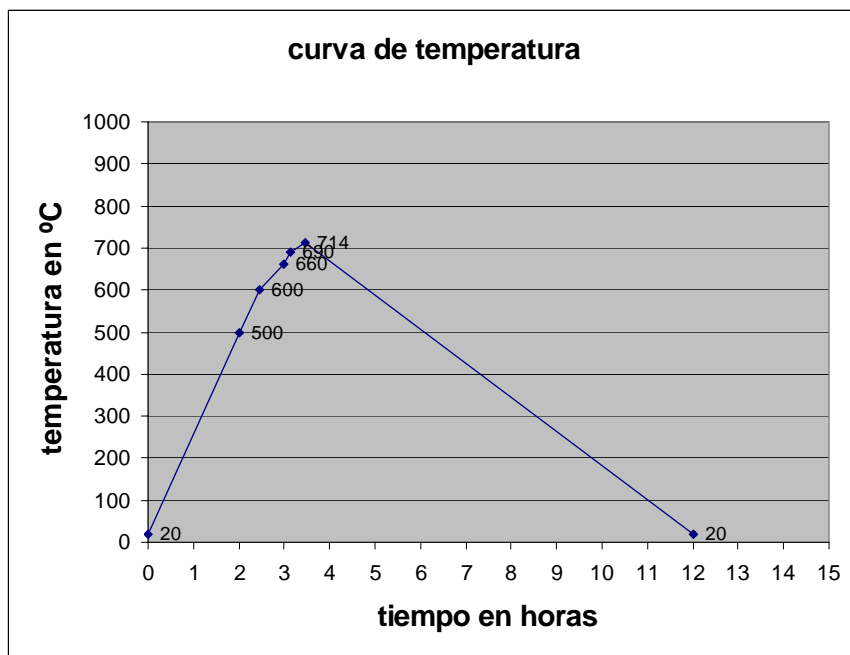


⁸ Este test se adapta a las orientaciones de MOORMAN (1990), y es el recomendado por la artista Miriam di Fiore.

⁹ Curiosamente, el blanco líquido que se usa para corregir errores en escritos es muy útil en estos menesteres, porque soporta el calor del horno.

Al terminar la prueba, se evalúa cuáles son las placas más termoformadas y cuáles menos. Pueden dibujarse uniendo como si fueran unas *isobaras* meteorológicas aquellas hojas de vidrio que estén a un mismo nivel de deformación. Así obtendremos el primer mapa térmico del horno.

La curva de temperatura que se usará para esta prueba está basada en lo que averiguamos con la de reblandecimiento. Es bastante similar en cuanto al ritmo de ascenso de temperatura (se recomiendan 5° por minuto). A partir de los 590°C, hay que vigilar la velocidad y la profundidad de termoformado. Puede hacerse a través de la mirilla del horno, o mejor aún, abriendo la puerta unos 15 cm, durante unos segundos, pues una vez sobrepasado el punto de reblandecimiento (590°C en este caso), no hay peligro de choque térmico para el vidrio. Desde el momento en que se vea que alguna de las placas de vidrio ha llegado a la mayor profundidad de termoformado, se anota la temperatura y se corta el aumento de la misma. Es preciso tener programado un ascenso hasta 750°C, que se interrumpirá cuando sea preciso. A partir de ahí, puede cerrarse el horno y dejar que la temperatura baje de manera gradual, al cortar el suministro de calor o llegar al fin del programa. No es preciso hacer recocido, pues se trata de trozos de vidrio cuyo único valor es servir para esta prueba. Por lo tanto podemos ahorrarnos la energía eléctrica y el tiempo necesarios para aquél.



En la prueba realizada, **la temperatura necesaria para la mayor profundidad de termoformado fue 714°C.**

Una vez frío el horno, al vaciarlo, se observaron diferentes niveles de termoformado, como se ve en las siguientes fotografías.

Un vistazo general nos permite sacar las siguientes conclusiones:



Bandeja inferior. La mayoría de los vidrios aparecen totalmente termoformados, excepto el primero, que, posiblemente por pérdida de calor a través de la mirilla, no está tan plano como los otros.
Es la bandeja más caliente.

Bandeja media. Tiene un buen termoformado, a excepción del vidrio de delante y el del centro, que están sólo ligeramente curvados. Éstos estaban situados justo frente a la mirilla.



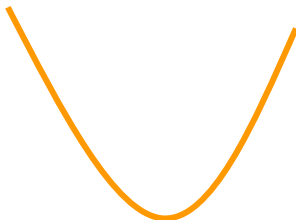
Bandeja superior. En ella pocas piezas alcanzan un termoformado que vaya más allá de una mera curvatura. Es, en consecuencia, la bandeja más fría.

La mayor o menor profundidad de termoformado

El vidrio se habrá termoformado en profundidad si, además de curvarse, ha llegado a la superficie horizontal de la bandeja, adquiriendo su forma. El alambre que se colocó como testigo habrá quedado profundamente marcado en el vidrio.



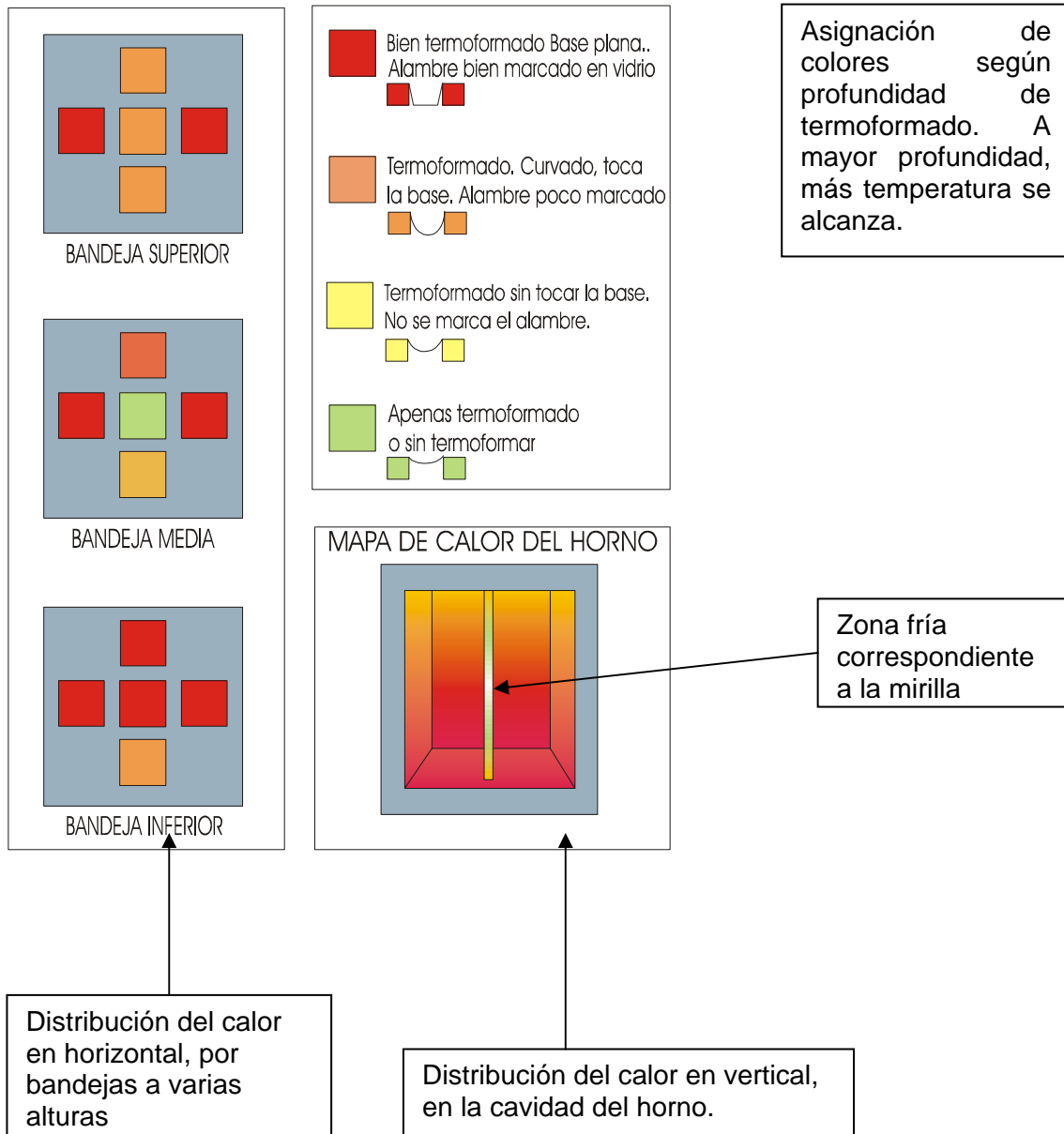
Si la temperatura no ha sido tan alta, el termoformado será más suave, y la placa de vidrio presentará una curvatura en lugar de ser plana. El testigo de alambre no se habrá marcado tanto.



La placa de vidrio que estaba más cerca de la mirilla presentaba un termoformado defectuoso. Esto indica que es necesario tapar la mirilla cuando se realicen cocciones en este horno.



A partir de estos datos, se pudo elaborar el primer mapa de temperaturas del horno, correspondiente al intervalo 600°-700°C. Para ello se utilizó un código de colores, como puede verse a continuación.



III.1.4. TEST DE FUSIÓN TOTAL Y EN RELIEVE.

Homogeneidad de temperatura en el intervalo 750°-850°C.

Para realizar bloques de vidrio, bien sea uniendo vidrio plano (como float o compatible del tipo Bullseye), o en la realización de obras de pasta de vidrio, es preciso elevar la temperatura hasta el punto de fluidez. De no alcanzar ese punto, las distintas piezas no se fusionarán adecuadamente. Pero si lo sobrepasamos, el vidrio puede hervir, esparcirse por el horno y estropearlo (en esas condiciones es muy corrosivo). Por esta razón es importante que determinemos cuál es la mejor temperatura para desarrollar estos procesos.

A una temperatura elevada, en torno a los 820°-850° según tipo de vidrio y equipo pirométrico, se produce lo que ha dado en llamarse vitrofusión o **fusión total**, también conocida por su nombre inglés, *full fusing*. En esta temperatura, el vidrio se halla suficientemente fluido como para que diferentes hojas de vidrio plano se unan entre sí sin quedar bordes marcados y, a medida que se eleva la temperatura, la superficie tiende a quedar al mismo nivel, incluso si se colocaron varias capas superpuestas.

Con una temperatura no tan elevada (entre los 750° y los 800°, también en función del tipo de horno y de vidrio), se produce la **fusión en relieve**, en la que varias placas de vidrio plano quedan fusionadas entre sí, pero respetando las formas de éstas, sobre todo si se colocaron unos fragmentos sobre otros formando un relieve. Al ir aumentando la temperatura, los bordes y artistas de los fragmentos de vidrio plano se redondean cada vez más, difuminándose hasta desaparecer sus volúmenes al llegar a la temperatura de fusión total.

III.1.4.1. Objetivo del test

La finalidad es, por una parte, hacer un mapa térmico del horno a temperatura de fusión, y por otra, determinar cuál es este intervalo de temperatura para el vidrio float. Es importante saber cuáles son las características del horno a dicha temperatura, pues de ello dependerá que una obra tenga o no el relieve deseado, o que se integren perfectamente o no los distintos elementos vítreos que queramos incluir en ella. Si sabemos cuáles son las zonas frías y calientes, podremos aprovechar para cargar varias obras al mismo tiempo que requieran diferentes temperaturas.

III.1.4.2. Desarrollo de la prueba

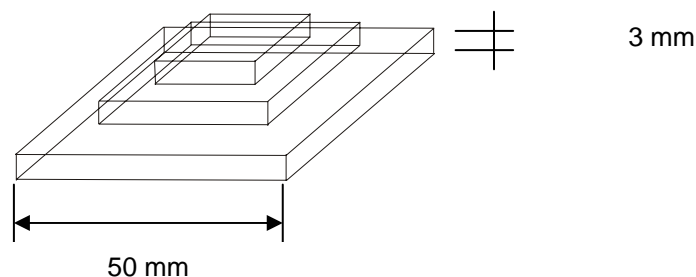
Para poder realizar esta prueba, partimos de las observaciones de las dos pruebas anteriores respecto al punto de reblandecimiento del vidrio float en este horno (590°), y el momento en el que el vidrio empieza a estar bastante fluido (714°).

Por la bibliografía acerca de fusing, tenemos un rango aproximado de temperaturas que servirá para programar la curva correspondiente a esta cocción. Hay pequeñas discrepancias en las fuentes consultadas y, además, no todas se refieren al vidrio float, sino al Bullseye. A continuación presento una tabla comparativa de estas temperaturas.

	MOORMAN (1990)	MIRBECK (1992)	LUNDSTROM y SCHWOERER (1983)	ROYANT (1994)	FIORE (1996)
Intervalo de termo formado	600°-680°	540°-650°	540°-730° Vidrio doméstico; el float no se termoforma en profundidad	545°-730°	600°-740°
Intervalo de collage	650°-700°	650°-710°			
Intervalo de fusión en relieve	700°-740°	710°-820° (según espesor)	760°-788° Vidrio float unido y redondeado	730°- 800°	750°-850°
Intervalo de fusión total	780°-840°	será en relieve o total) < 820°	788°-843° Fusión total	800°-860°	
Zona líquida		820°-1000° Técnicas de casting o pasta de vidrio	843°-927° El vidrio burbujea y se vuelve líquido	<860°	<850°

Preparación de la prueba

Para desarrollar la prueba se preparan “pirámides” de láminas de vidrio float con las que se recubren las placas del horno. En esquema, cada pirámide es así:



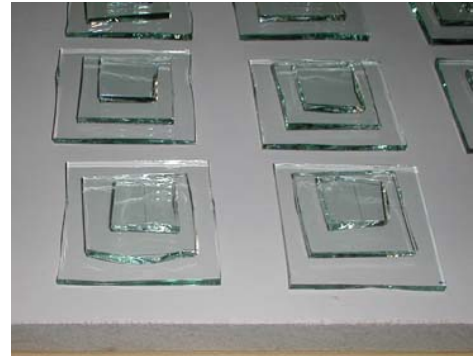
En las siguientes fotografías se puede ver cómo se prepararon las bandejas del horno para la prueba. La finalidad era abarcar la mayor superficie

posible con las pirámides de vidrio, para poder tener una idea más completa de las características térmicas del horno. Las bandejas están recubiertas con un separador comercial, *Shelf Primer* de *Hot Line*.



Imagen de una de las bandejas del horno con las pirámides de vidrio para hacer la prueba. Se intenta cubrir la mayor superficie posible.

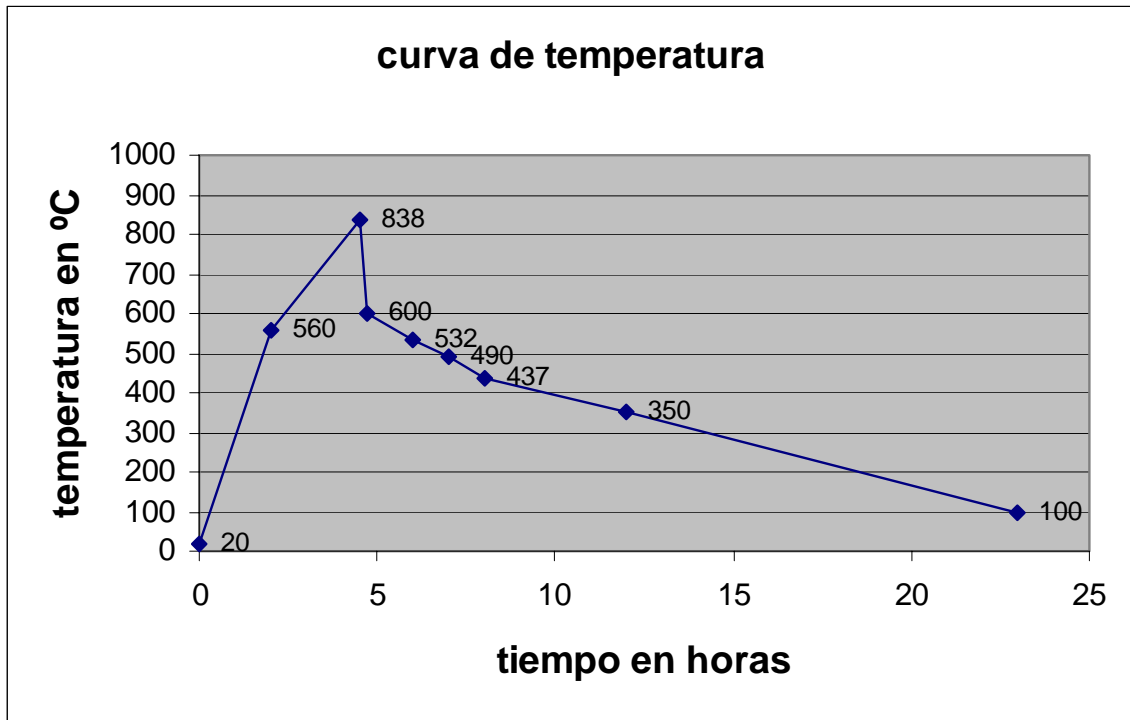
Detalle de las pirámides de vidrio.



La prueba consiste en subir la temperatura por encima de los 750° C y, una vez alcanzada esta temperatura, abrir ligeramente la puerta durante unos segundos, mientras se continúa proporcionando calor, para observar el proceso de fusión. Cuando una de las pirámides se haya redondeado completamente, se anota la temperatura alcanzada y se comienza a bajar la temperatura del horno. **En nuestro caso, la temperatura necesaria para alcanzar la fusión total fue de 838°C.**

Para evitar desvitrificaciones, entre los 800°C y los 600°C se mantiene la puerta del horno abierta, tratando de enfriar lo más rápidamente posible.

La curva de temperatura para esta prueba fue la siguiente:



Una vez frías las piezas de vidrio, se sacan del horno y se comprueba hasta qué punto se ha producido la fusión en las diferentes zonas del horno. Cuanto más redondeada esté la pieza, más calor habrá recibido. De este modo podemos completar el mapa térmico del horno.



De la fusión en relieve a la fusión total. Tipos de fusión y temperaturas necesarias.



Estas piezas presentan una *fusión en relieve*. Corresponden a la bandeja más alta del horno, donde la temperatura era menor. Este tipo de fusión resulta muy útil para crear volúmenes en vidrio, pues se añade a la forma en sí el efecto óptico, de lente, creado por el vidrio transparente.

Imagen en detalle de una de las pirámides fusionadas en relieve. Se ve con facilidad que, en la mayoría de las pirámides, las diferentes láminas de vidrio aparecen fusionadas unas a otras y sus aristas se han suavizado, aunque se sigue distinguiendo con toda claridad la forma de cada cuadrado.



Esta es la bandeja intermedia, en la que la fusión sigue teniendo relieve, pero mucho menos marcado que en la bandeja superior. Este relieve es mucho más patente en las piezas de delante, cercanas a la puerta, a pesar de haber realizado la cocción con la mirilla cerrada para evitar pérdidas de calor.





En la bandeja inferior el vidrio recibe más calor (el horno tiene resistencias bajo la solera), por lo que se produce fusión total. Apenas se ven unas ligeras sombras donde estuvieron las formas de las diferentes láminas de vidrio que formaban la pirámide.



Detalle de una de las piezas de la bandeja inferior que ha llegado a *fusión total* (*full fusing*). Esta técnica resulta interesante para crear bloques de vidrio, o para unir vidrios de diferentes colores, ya sea en lámina o en granilla.

A partir de estos datos, se puede elaborar el segundo mapa térmico del horno, el que refleja el intervalo de temperatura entre los 750° y los 850°C.



Vidrio poco fundido. Pegado, pero con bordes poco redondeados



Fusión en relieve. Bordes redondeados, aunque aún se aprecia la forma original de cada lámina

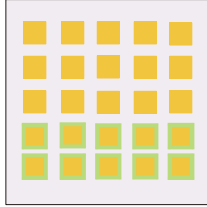


Fusión casi completa, bordes muy redondeados y volumen original con tendencia a unificarse

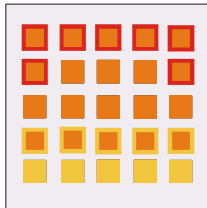


Fusión total, apenas se notan las formas originales de cada lámina

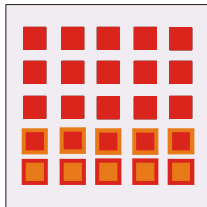
Distribución del calor en horizontal, por bandejas, a varias alturas



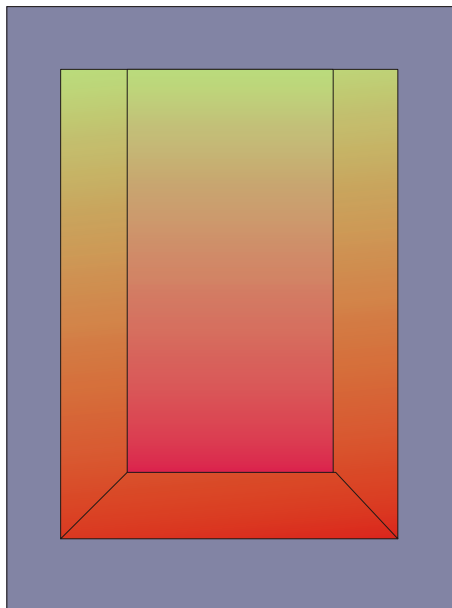
Bandeja superior. Zona
más fría del horno.



Bandeja intermedia. Zona
caliente.



Bandeja inferior. Zona más
caliente del horno.



MAPA DE CALOR DEL HORNO

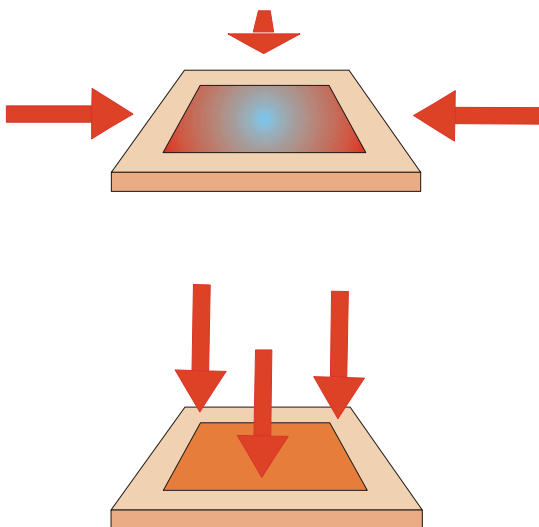
Distribución
del calor en
vertical

III.1.4.3. Tests en un horno específico para fusión de vidrio

Con posterioridad a las pruebas anteriormente descritas y al mapa térmico del horno cerámico, realicé pruebas para un horno diseñado específicamente para trabajar con técnicas de fusión de vidrio plano.



Este horno para fusión tiene características técnicas diferentes al cerámico, aunque los principios sean los mismos. En primer lugar destaca su forma de arca con puerta de abertura superior. Es ancho y de poca altura, por lo que permite trabajar con obras de vidrio plano. Las resistencias están en la tapa del horno; el calor procede de arriba y se reparte homogéneamente por toda la lámina de vidrio.



Este esquema muestra cómo se recibe el calor en un horno cerámico (dibujo de arriba) y en un horno de fusión (dibujo de abajo). En el horno cerámico el calor se recibe desde los lados, por lo que puede haber diferencias de temperatura en una lámina de vidrio, que tendría el centro más frío. En el caso del horno de fusión, el calor se reparte más homogéneamente por toda la superficie del vidrio.

Otra característica importante de este horno es su material aislante. No lleva ladrillos refractarios como los hornos cerámicos, sino manta de fibra cerámica. Esta diferencia hace que mientras el horno cerámico tiene una gran inercia térmica (necesita que le sea aplicada mucha energía calorífica para alcanzar temperaturas elevadas, pero una vez logradas tarda mucho en enfriarse), el horno para fusión de vidrio se calienta y se enfría con mucha rapidez.



En el horno cerámico, también para ayudar a mantener la temperatura en su interior, hay únicamente dos aberturas: la chimenea superior y una pequeña mirilla. Sin embargo, el horno de fusión tiene cuatro puntos de ventilación: uno superior que hace de chimenea y otros en dos laterales y frente, respectivamente.



Preparación de la prueba

En primer lugar, quiero insistir en que siempre que se va a trabajar con vidrio en un horno que no se conoce, hay que hacer algunas de las pruebas hasta ahora descritas. Cada horno tiene unas características térmicas específicas y los pirómetros no son estables. De hecho, he constatado una diferencia constante de 20 grados entre las medidas que arrojan los pirómetros de los dos hornos testados.

Como mínimo es necesario averiguar cuál es la temperatura de ablandamiento del vidrio en este horno y cuál es el mapa térmico en la franja de temperaturas de 750°-850°C. Ambos tests pueden hacerse en una sola cocción, pero será necesario vigilar a través de una mirilla a partir de los 500°C para comprobar cuál es la temperatura de ablandamiento; una vez anotada ésta se continúa subiendo la temperatura hasta 800°C para hacer el mapa térmico del horno.

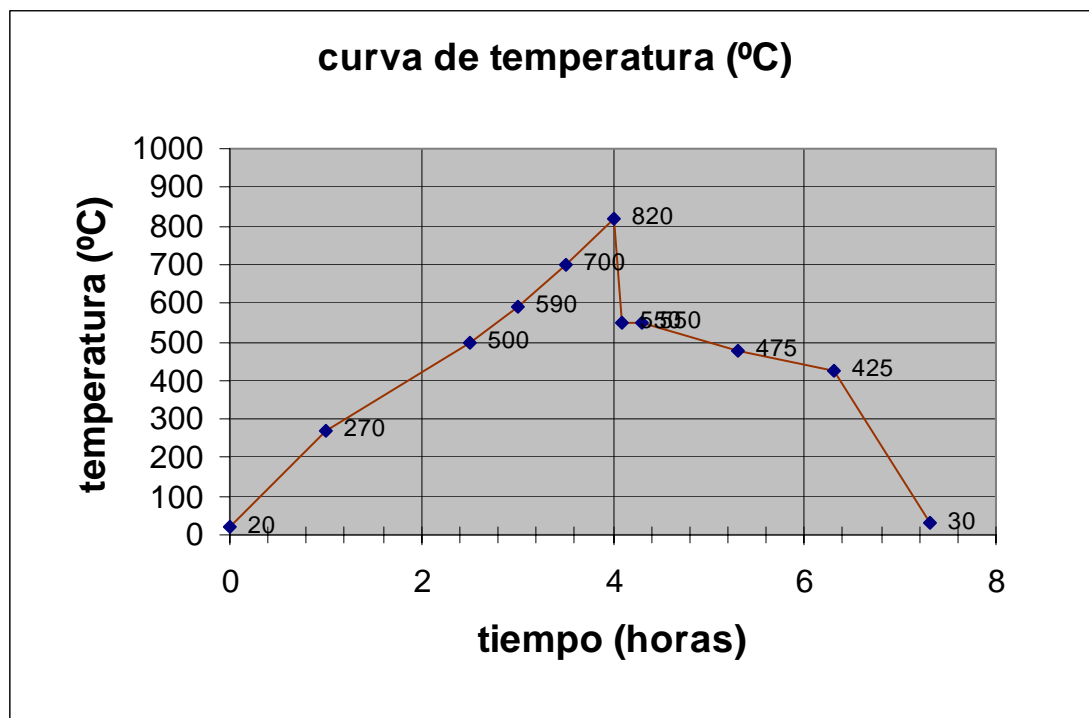


Realizaremos el mismo test de ablandamiento descrito para el horno cerámico (suspender a cierta altura una lámina de vidrio de 3mm de grosor y 20 x 1 cm, que al ablandarse por el calor debe tocar un clavo situado 5mm por debajo). Lo haremos a la vez con dos tipos de vidrio: el float de Cristalería Española y el Bullseye específico para fusión.

Para hacer el mapa térmico realizaremos el test de fusión total y en relieve descrito en este mismo capítulo.



La curva de fusión que inicialmente se programó fue la siguiente:



Resultados del test de ablandamiento.

El vidrio float de Cristalería Española se ablandó a 608°C, mientras que el vidrio Bullseye lo hizo a 590°C. La tabla siguiente muestra las diferencias halladas entre los dos tipos de horno:

	HORNO CERÁMICO	HORNO DE FUSIÓN	Grados de diferencia
Float de Cristalería Española	598°C	608°C	20
Vidrio Bullseye	580°C	590°C	20

Esta diferencia de temperatura, 20°C, parece constante incluso cuando están los dos hornos parados. El horno de fusión siempre marca 20°C más de “temperatura ambiente” que el cerámico.

Resultados del test de fusión.

Tras comprobar la diferencia de temperaturas entre un horno y otro, cambié a mitad de cocción la curva de ascenso, programando una subida hasta la temperatura máxima de 840°C en vez de los 820°C inicialmente propuestos. No había ninguna meseta a esa temperatura máxima. Por esta razón, no se consiguió fusión total en ninguna de las piezas de vidrio testadas, ya que la temperatura elevada debe ayudarse del tiempo para actuar.



Un resultado interesante de esta prueba fue comprobar que todas las piezas de vidrio habían llegado al mismo punto de fusión. Esto quiere decir que la temperatura dentro del horno es homogénea. No es preciso dibujar un mapa térmico puesto que tendría un color uniforme.

III. 2. LOS PROCESOS DE FUSIÓN.

III.2.1. TÉCNICAS DE FUSIÓN EN RELIEVE Y FUSIÓN TOTAL.

Aunque la mayoría de los autores consultados definen la fusión o *fusing* como la unión mediante el calor de dos o más piezas de vidrio para formar una sola pieza, me parece preferible una definición más amplia, como esta: “el *fusing* o fusión consiste en transformar un vidrio ya existente en algo nuevo utilizando el calor de un horno”¹⁰, puesto que así se incluyen procesos de termoformado y de inclusión¹¹, que no son exactamente pegar dos vidrios pero que sí pertenecen al ámbito de las técnicas de fusión.

La fusión tiene aplicación a la vidriera, mosaico, arquitectura, decoración, objetos utilitarios, joyas, etc. Como mostraré en esta tesis, también es una buena técnica para la escultura.

Las técnicas de fusión tienen una larga historia. Alrededor del 1000 a.C., antes de la aparición del vidrio soplado, los egipcios y los romanos realizaban ya piezas utilizando una de estas técnicas, que posteriormente se llamó “millefiori”. Consistía en fundir juntas varias varillas de vidrio de colores diferentes, formando un esquema determinado. Posteriormente se cortaban formando discos o murrinas, que se colocaban en plano, juntos lado a lado, consiguiendo así una superficie semejante a un lecho de flores.¹² Principalmente hacían joyas, azulejos, copas pequeñas. Tras la aparición del vidrio soplado ya no se encuentran piezas de fusión, pues el soplado era mucho más rápido.



Vasija de murrinas. Roma, siglo I, Museo Portland.

¹⁰ MIRIAM DI FIORE, curso *Fusión y termoformado*, mayo 1997, Fundación CNV de La Granja de San Ildefonso.

¹¹ Estos y otros procesos serán abordados a lo largo de esta tesis.

¹² ESCÁRZAGA, A. (1994), Pág. 158.

Este método fue redescubierto por los venecianos en el siglo XIV.

A partir de los años 70 del siglo XX las técnicas de fusión fueron “redescubiertas” para el arte, sobre todo en el mundo anglosajón, especialmente otras técnicas de fusión distintas a las “millefiori”. Cobraron tanto auge que se comenzó a preparar material y herramientas específicas para trabajar estas técnicas. Actualmente se ha extendido mucho por Europa (Italia, Francia, Inglaterra, Bohemia), si bien su principal impulso fue debido a artistas norteamericanos de la década de los 80 del siglo XX.

III.2.1.1. Los distintos momentos del proceso de trabajo en las técnicas de fusión.

El proceso de trabajo con las técnicas de fusión conlleva los siguientes momentos: abocetado y preparación de plantillas, corte de los vidrios que se utilizarán, composición, montaje y pegado en frío de la pieza, horneado y acabado en frío (si es necesario).

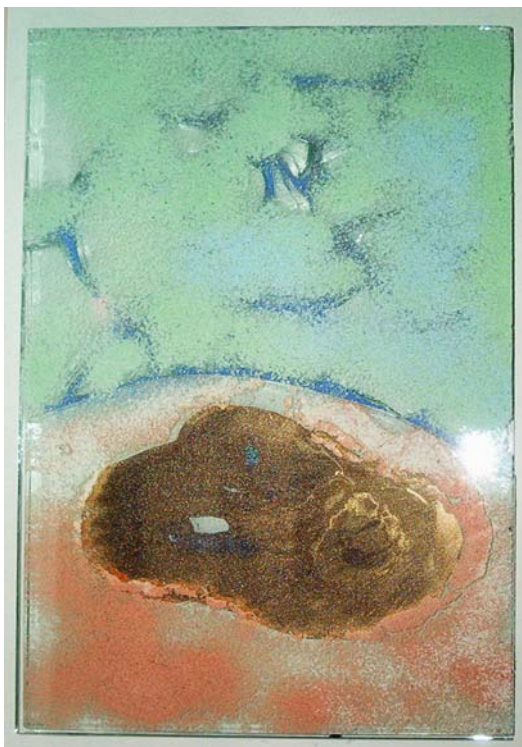
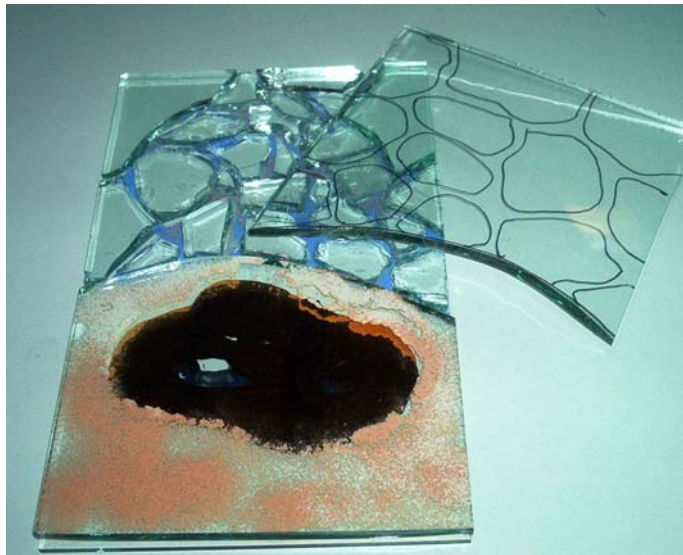


Proceso de creación de una obra con las técnicas de fusión. Abocetado.

Se suele trabajar a partir de bocetos que muchos artistas transforman en plantillas de cartón. Podemos utilizar distintos tipos de vidrios planos (desde el flotado –de ventana- hasta el Bullseye especial para fusión). Las plantillas se pasan a estos vidrios con un rotulador especial (la tinta debe poder marcar sobre superficies no porosas como el vidrio). Los vidrios se cortan por las marcas que se han realizado y a continuación se combinan y unen las diferentes partes. Antes de poner la pieza en el horno, se pueden adherir los distintos fragmentos con algún pegamento.

Proceso de creación de una obra con las técnicas de fusión.

La obra tiene un vidrio rectangular como base, sobre el que se han pegado otras láminas de vidrio de distintos tamaños y formas. Se han comenzado a añadir esmaltes y fritas para conseguir color.



La última lámina de vidrio, en este caso también rectangular, se dispone sobre las piezas de debajo. También se ponen en superficie esmaltes y fritas. Está lista para llevarla al horno.

El vidrio es muy sensible al calor y se “derrite” fácilmente. Esto nos permite partir de piezas de vidrio, generalmente planas, que cortaremos y combinaremos para conformar nuestras obras de fusión. Para ello, calentamos y ablandamos el vidrio en el horno, mezclándolo con otros vidrios o con otros materiales. De este modo se forma una sola pieza homogénea. Es un proceso irreversible, aunque la pieza resultante siempre podemos cortarla o fundirla

varias veces más¹³, si bien sólo es recomendable fusionarla tres veces (a partir de la cuarta suelen aparecer tensiones).

Dentro del horno hay que tener en cuenta tres cosas: la materia (el tipo de vidrio, su compatibilidad, sus características específicas), el calor y el tiempo empleado para alcanzarlo (la combinación de estas dos magnitudes constituye lo que llamaremos la curva de temperatura) y la fuerza de la gravedad (el vidrio, cuando llega a su temperatura de ablandamiento, se convierte en un líquido que se escurre). La temperatura dentro del horno debe ser homogénea y los índices de dilatación térmica de los diferentes vidrios fusionados juntos, compatibles.

Pueden conseguirse diferentes efectos en la pieza de vidrio, según cuál sea la temperatura alcanzada. Las distintas técnicas pertenecientes al ámbito de la fusión son las siguientes:

- *Termocollage*: consiste en adherir dos o más láminas de vidrio, sin que cambie su forma o se redondeen los bordes.
- *Termoformado*: una o más láminas de vidrio sufren una deformación debida al calor, para adaptarse a la forma de un molde.



Láminas de vidrio fundidas en una sola con esmaltes; el resultado después se ha termoformado sobre un molde de malla metálica.

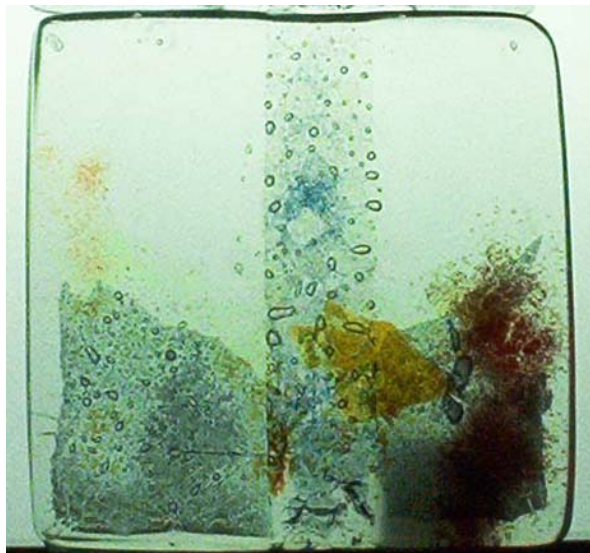
- *Fusión en relieve*: los distintos fragmentos de vidrio que, situados unos sobre otros, componen una obra, se fusionan entre sí y sus bordes aparecen redondeados, pero se aprecia perfectamente diferenciado su volumen y su forma.

¹³ CHANTAL ROYANT, *Curso de Fusing*, agosto 1996, Fundación CNV de La Granja de San Ildefonso.



Sobre una lámina de base con esmaltes y fritas molidas, se han colocado algunos fragmentos de vidrio que se han llevado a fusión en relieve; su forma y volumen se aprecia perfectamente

- *Fusión total o fusión plana (full fusing o flat fusing)*: la superficie de la obra está totalmente plana y los distintos fragmentos que la componen (incluso aunque se hubieran puesto unos sobre otros), no tienen un volumen diferenciado que sobresalga del conjunto.



Esta obra está formada por tres capas de láminas de vidrio con inclusiones y esmaltes. Los distintos fragmentos de vidrio que la componen se han fusionado completamente, y la superficie es plana.

Existe un rango de temperaturas específicas para cada una de las técnicas de fusión anteriores. Generalmente, la temperatura necesaria para conseguir

termocollage es la más baja de todas. El termoformado necesita una temperatura menor que la que se utilizará para fusión en relieve, y la temperatura más alta es la que se emplea para fusión total. Sin embargo, no puede hablarse de unas temperaturas fijas en las que estas transformaciones tienen lugar, pues dependerán de:

- **El tipo de vidrio utilizado.** Así, el vidrio *float* (flotado o de ventana) es más duro que el vidrio Bullseye, y necesita casi 20° más que éste para cualquier transformación idéntica dentro del horno. Por ejemplo, he comprobado que en el mismo horno, el vidrio de ventana requiere 845° C para llegar a fusión total, mientras que el Bullseye sólo necesita 825°C. Esta es una de las razones que nos obligará a hacer cocciones diferentes para diferentes vidrios.
- **El tipo de horno utilizado y la ubicación de las resistencias o fuentes de calor.** Un horno de ladrillos y calor lateral, como el horno cerámico Molina con el que se ha hecho parte de la investigación de esta tesis, requiere elevar menos la temperatura que un horno para fusión, de manta de fibra cerámica y calor superior. El primero acumula más calor (se calienta más despacio pero se conserva caliente más tiempo), mientras que el segundo puede calentarse muy rápidamente, pero se enfría también más deprisa. Un proceso de fusión total con vidrio de ventana en el primer horno requiere llegar a los 814° C, mientras que en el de fusión se necesitan 845° C.
- **El grosor del vidrio que se quiera fundir.** Cuanto más grueso sea, más calor requerirá para llegar al punto de fusión deseado¹⁴.
- **El tipo y la precisión del equipo pirométrico.** Entre los dos hornos utilizados en esta tesis, por ejemplo, ya hay una gran diferencia de partida, pues a temperatura ambiente el de fusión marca 12° C más que el otro.
- **La velocidad con la cual se ha calentado el vidrio.** Se consiguen efectos parecidos de fusión total (con el vidrio de ventana y en el horno de fusión, por ejemplo), llegando a la temperatura máxima de 845° C y haciendo allí un estacionamiento de 8 minutos, que llegando a los 850° C sin hacer ninguna meseta y bajando inmediatamente a partir de esa temperatura.
- **La ubicación de las bandejas dentro del horno.** Cuando se utiliza un horno de calor lateral no reciben el mismo calor las bandejas de abajo que las de arriba¹⁵.
- **El color del vidrio.** Los colores oscuros se calientan y transforman antes que otros, incluso aunque tengan el mismo coeficiente de dilatación y sean compatibles.

¹⁴ Ver epígrafe “De la fusión en relieve a la fusión total”, más adelante en este mismo capítulo.

¹⁵ Ver capítulo dedicado a *Pruebas de horno* donde se hace un gráfico de los mapas térmicos de los hornos utilizados en esta tesis.

Como ejemplo, en esta tabla se consignan algunas temperaturas concretas experimentadas con los hornos de esta tesis para distintos tipos de fusión con distintos tipos de vidrio:

	Horno Molina (Cerámico, calor lateral)		Horno Ingeniería 2000 (Manta fibra, calor superior)	
	Vidrio float Cristalería E.	Vidrio Bullseye	Vidrio float Cristalería E.	Vidrio Bullseye
Termocollage	720°C	700°C	750°C	730°C
Termoformado	750°C	730°C	780°C	760°C
Fusión en relieve	800°C	780°C	830°C	805°C
Fusión total	814°C	794°C	845°C	825°C

Las temperaturas de la tabla anterior están consideradas para una curva de temperaturas semejante. La curva de temperatura es aquella que se forma gráficamente cuando llamamos X a la temperatura e Y al tiempo. Generalmente, las unidades que se emplean para marcar la temperatura son grados centígrados, aunque en muchos libros anglosajones aparecen grados Fahrenheit. Los tiempos se suelen marcar en horas. En una curva, se llama rampa a un ascenso o descenso de la temperatura, y meseta a un estacionamiento temporal en determinado nivel de calor.

Una curva típica para fusión implica los siguientes momentos dentro del horno:

- *Calentamiento hasta la temperatura de ablandamiento* del vidrio. El rango de temperaturas orientativo se sitúa entre los 0 y los 530°C¹⁶. La velocidad de calentamiento depende de dos factores: el grosor del vidrio (más lenta cuanto más grueso es éste), la cantidad de fragmentos que deben fundirse juntos (cuantas más láminas distintas de vidrio, más tiempo se necesitará en el calentamiento).

En este momento, los vidrios permanecen rígidos, pero se expanden de diferente forma según su coeficiente de dilatación. Deben recibir un calor homogéneo. De lo contrario, unas zonas de la misma lámina de vidrio estarían más calientes que otras produciendo choque térmico y rotura. Cuando van a fundirse varias láminas de vidrio, conviene hacer algunas mesetas (a los 250°C y a los 530°C) para asegurarnos de que ese calor es homogéneo.

En este momento conviene tener abierta la ventilación del horno, sobre todo si se han utilizado esmaltes, lustres o materiales orgánicos que desprendan gases al quemarse.

- *Ascenso rápido de la temperatura.* A partir de la temperatura de ablandamiento, podemos abrir ligeramente la puerta del horno sin que el choque térmico rompa el vidrio. Generalmente se sube la temperatura rápidamente hasta los 650°C; en este rango de temperaturas, no hay cambios visibles en la forma del vidrio, y sus esquinas permanecen aún sin redondear, a no ser que sea muy fino. El vidrio tiene un color miel luminoso, empieza a estar incandescente y su superficie brilla más y más a medida

¹⁶ El capítulo sobre tests de ablandamiento del vidrio hace una descripción de cómo hallar exactamente este rango de temperaturas.

que se calienta. Un ascenso demasiado rápido en esta fase dificulta la expulsión de las burbujas de aire o gases que pueden quedar ocluidas entre los vidrios.

- *Ascenso de la temperatura hasta los diferentes puntos de fusión.* El rango de temperaturas orientativo se sitúa entre los 650° C y los 850°C. La temperatura superior dependerá del tipo de fusión que se quiera conseguir. Las decisiones que se tomen respecto a la curva de temperatura en estos intervalos deberán tener en cuenta dos posibles riesgos. Por una parte, cuanto más largo sea el tiempo que el vidrio pase en esta fase, mayores riesgos de desvitrificación habrá. Por otra parte, algunos procesos, como los de termoformado, sólo se producirán correctamente pasando más tiempo a menor temperatura en vez de poco tiempo a altas temperaturas.

Los vidrios suelen hacerse fluidos a partir de los 700° C, y experimentan un encogimiento o dilatación debidos a la tensión superficial; debido a esto, el vidrio busca los 6mm de grosor. Si la hoja es más fina, al contraerse saldrán agujas en los bordes que permanecerán después en la pieza; si mide 6 mm no sufrirá deformación, y si mide más, ensanchará los bordes dilatándose hasta adquirir este grosor. El aspecto del vidrio es más incandescente, y adquiere un color rojo oscuro que, a medida que aumenta el calor, pasa al anaranjado y al amarillo blanquecino brillante.

Si se sobrepasan los 850°C, pasamos del estado de *encogimiento*¹⁷ al estado *líquido*. No conviene calentar el vidrio más de los 900° C, pues su composición atacaría los componentes del horno.

En este momento hay que estar cerca del horno y abrir alguna vez la puerta, o mirar a través de una mirilla, para poder controlar el punto de fusión que queramos dar a las obras, ya que entre la fusión en relieve y la fusión total hay infinitos puntos intermedios que pueden ser adecuados para ciertos proyectos.

- *Bajada rápida de la temperatura hasta el punto de recocido.* Las desvitrificaciones pueden producirse tanto al subir como al bajar la temperatura. Una vez que el vidrio ha adquirido su nueva conformación, debe tratarse de “congelar” esa forma, llegando lo antes posible a una temperatura en la que esté lo bastante líquido para eliminar las tensiones, pero lo bastante sólido para que mantenga la apariencia lograda durante la fusión.
- *Recocido. Estacionamiento* en el punto de recocido durante un espacio de tiempo que viene determinado por el grosor del vidrio y por la agresividad de las transformaciones sufridas. Cuanto más grueso es el vidrio, mayor tiempo de recocido requiere, y cuanto más ha variado su forma o más cantidad de láminas de vidrio se han unido juntas, también se requiere mayor tiempo.

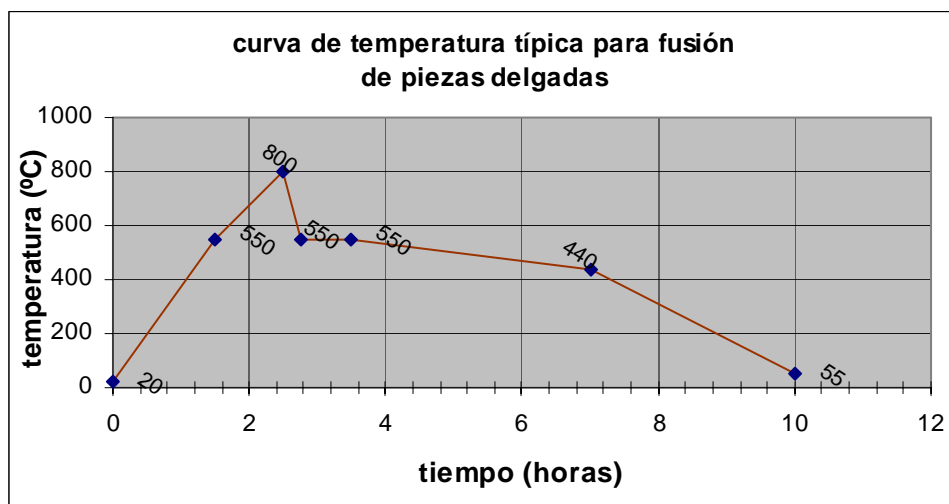
¹⁷ MOORMAN, S. (1990), Pág. 13.

Tiempos de recocido en procesos de fusión en relieve y total¹⁸

Grosor del vidrio	9 ¹⁹ mm	12 mm	18 mm ²⁰	20 mm	30 mm
Tiempo de recocido	35 min.	45 min.	1 hora 30 min.	1 hora 20 min.	2 horas 30 min.
Tiempo en zona de recocido	2 horas 30 min.	4 horas 20 min.	11 horas	11 horas	34 horas

- *Descenso lento de la temperatura en la zona de recocido.* Desde el punto inicial de recocido al punto más bajo de recocido debe bajarse lentamente la temperatura. Algunos autores marcan dos puntos diferenciados dentro de la zona de recocido, con diferentes velocidades de descenso, la segunda de ellas más rápida²¹.
- *Descenso de la temperatura hasta la de la habitación.* También será más rápida cuanto más fina sea la obra de vidrio, aunque en general, la inercia térmica de los hornos hace que, una vez apagadas las fuentes de calor, el descenso sea incluso más lento que el recomendado por las distintas tablas.

A continuación aparecen dos curvas de temperatura típicas para fusión; la primera de ellas para piezas delgadas (hasta 9 mm), y la segunda para piezas gruesas (hasta 30 mm).

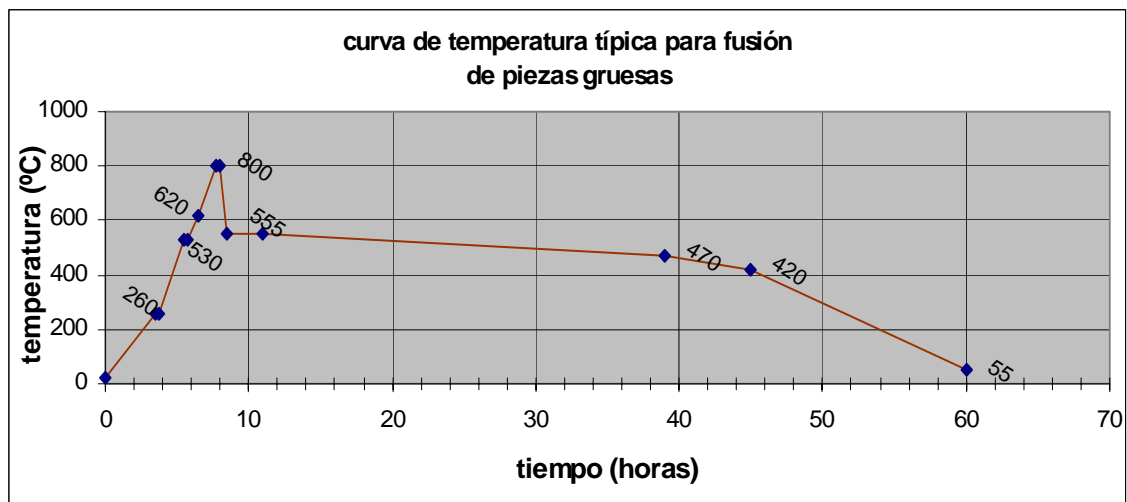


¹⁸ STONE, G. (2000), págs. 60 y sigtes.

¹⁹ Estos rangos varían de un autor a otro. ROYANT, Ch. (*Curso de Fusing* agosto 1996, Fundación CNV), indica 4 horas de recocido para 9 mm de grosor, más 12 horas en la zona de recocido; para ese mismo grosor, MOORMAN (1990), señala un tiempo de recocido de 60 minutos, y 5 horas en la zona de recocido; LUNDSTROM, B. (1991), recomienda 45 minutos de recocido y 3 horas y 20 minutos en la zona de recocido.

²⁰ Para 6 láminas de 3 mm se requiere el mismo tiempo de recocido que para 2 láminas de 10 mm. cada una; si los 20 mm tuvieran más de dos láminas, el tiempo se doblaría.

²¹ STONE, G. (2000), págs. 60 y sigtes.



III.2.1.2. Preparación de las obras para fusión. Corte de láminas de vidrio.

Una de las primeras dificultades con las que me encontré cuando comencé a trabajar con técnicas de fusión fue hacer un buen corte de vidrio, pues preparar y unir las distintas piezas requiere precisión. Las técnicas de corte de vidrio son iguales que las que se emplean para hacer vidrieras emplomadas. Se requiere cierta práctica para aprender a controlar los cortes. Un buen equipo de herramientas para el corte de vidrio facilita mucho el trabajo.

La herramienta más importante para cortar vidrio es el cortavidrios o rulina, herramientas en forma de lápiz con una ruedecilla en el extremo que marca la superficie del vidrio. Para facilitar el corte y alargar la vida de las rulinas se suele utilizar un lubricante, generalmente un aceite especial, petróleo o incluso aguarrás.

Dos rulinas para cortar vidrio. La de arriba lleva una ruedecilla especial para cortar vidrios gruesos, de más de 6mm; está biselada con un ángulo de 135°. La de abajo tiene una cabeza articulada que puede girar con facilidad y es especial para hacer curvas. Además lleva un depósito de aceite.



Para hacer cortes en círculo se utiliza una rulina especial, sujeta a un brazo que pivota sobre un eje que a su vez se fija al vidrio por medio de una ventosa.

Para cortar con esta rulina es necesario hacer una presión uniforme. Pueden trazarse círculos con bastante precisión; el brazo está marcado en milímetros.



El vidrio suele cortarse sobre una superficie plana horizontal cubierta de un material mullido, como moqueta o fieltro.

Para marcar líneas rectas con la rulina se utilizan escuadras con un reborde inferior que se ajusta a uno de los lados rectos del vidrio, para asegurar que el corte será en un ángulo de 90° . Debe tener suficiente grosor para que la rulina ruede a su lado y no sobre la escuadra, ya que esto estropearía el corte. No sirven las reglas y escuadras normales de dibujo, porque son demasiado finas.

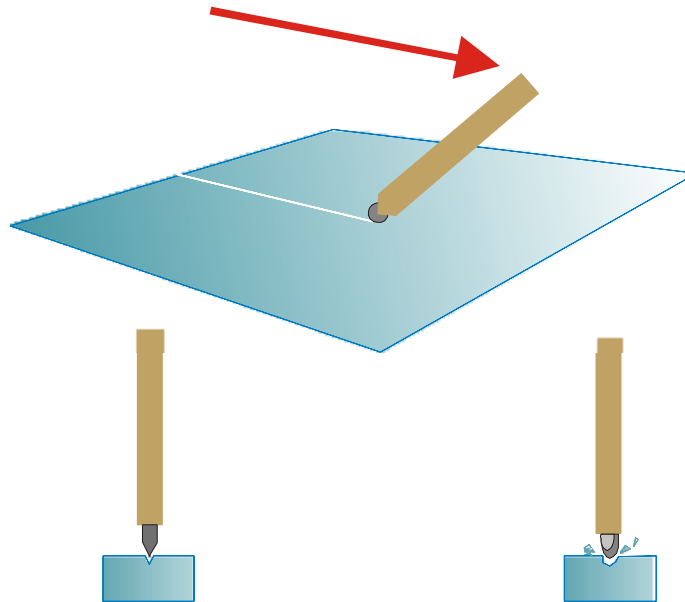
Las tenazas son otras herramientas indispensables cuando se quiere trabajar con precisión en cortes curvos o irregulares. Pueden ser de dos tipos: abrecortes, que se utilizan para separar el vidrio después de marcarlo, y de remorder, que sirven para arrancar fragmentos de vidrio en los laterales.

Distintos tipos de tenazas para vidrio. Arriba, tenaza para abrir cortes en vidrios muy gruesos; en el centro, una tenaza con cabeza giratoria para abrir curvas; abajo, tenaza de remorder.



Por último, una piedra de carborundo (sirve una de afilar cuchillos) servirá para limar los cantos y evitar cortes en los dedos al tocar los vidrios.

Para marcar con la rulina sobre el vidrio es necesario aplicar una presión constante; debe procurarse que la rueda de la rulina discurra perpendicular al vidrio, pues el corte se estropeará si se arrastra la rueda lateralmente.



La rulina debe pasarse desde la parte más alejada hacia el cuerpo; si se arrastra ladeada, como se muestra en el esquema de la derecha, el corte será malo; la rueda debe pasarse perpendicular al vidrio.

Al marcar el vidrio, la rulina hace un sonido característico y deja una fina marca. Cuando se utiliza una escuadra de corte, la rueda de la rulina traza la marca a una distancia de 2,5 mm respecto al borde de la escuadra.

Escuadra para vidrio, con la base más gruesa que se encaja en el borde del vidrio para hacer cortes en ángulo recto.



No debe repasarse un corte puesto que no mejora por ser más profundo. Además, la rulina se estropea²².

²² GERSTEIN, M., y WRIGLEY, L. (1997), p. 19.

Para separar dos vidrios marcados es preciso hacerlo enseguida, antes de que se “enfrie” el corte. Con ayuda de la tenaza de abrir podemos iniciar la rotura (suena un chasquido característico y puede verse una línea intensa y fina bajo el corte), aunque también puede hacerse golpeando suavemente con la zona metálica del cortavidrios, en la parte de atrás de la hoja de vidrio, justo debajo del corte.

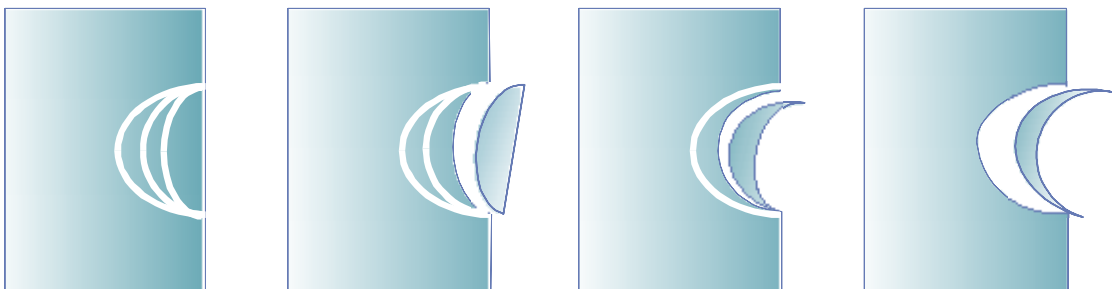
Después de marcar el corte, se ha abierto con ayuda de las tenazas. Puede verse en la fotografía el aspecto que tiene el corte cuando se abre: una línea intensa que surge justo debajo de la marca.



Una vez abierto el corte, se pueden separar los dos trozos de vidrio con las manos, o, si es un corte recto, poniendo un listoncillo de madera justo bajo el corte, por la cara no marcada y presionando hacia abajo en los dos lados de la hoja de vidrio.

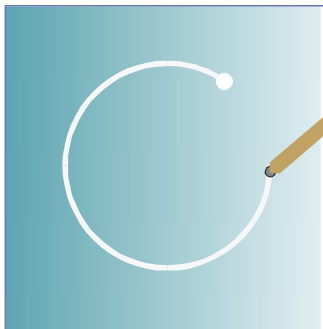
Los cortes curvos requieren más cuidado, sobre todo si son cerrados. Deben abrirse con una tenaza de abrir cortes especial (debe poderse girar la cabeza) o golpeando suavemente desde abajo a lo largo de toda la línea marcada. La distancia desde el borde hasta el extremo, debe ser suficientemente grande como para que el corte pueda abrirse por donde se ha marcado, y no tienda a irse hacia los extremos²³.

El trabajo es más complejo cuando hay que cortar curvas hacia dentro en el vidrio. Hay que cortar las líneas principales y otras menos profundas. Con los alicates de remorder se irán extrayendo poco a poco.

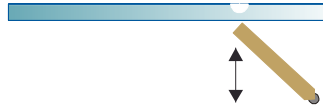


²³ BULLSEYE GLASS CO. (2000): *10 Ways to Improve Your Cutting*.

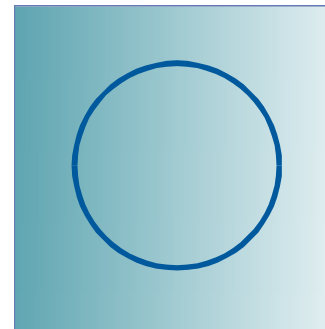
En ocasiones es necesario dividir la lámina de vidrio en varios fragmentos cuando lo que se requiere es dejar una zona interior hueca.



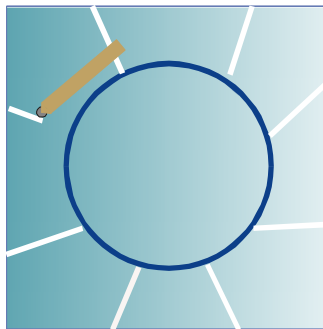
Marcar el círculo empezando en el punto más alejado del borde.



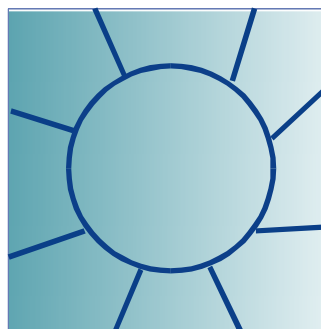
Golpear cuidadosamente justo debajo de la marca, empezando por el punto más alejado del borde.



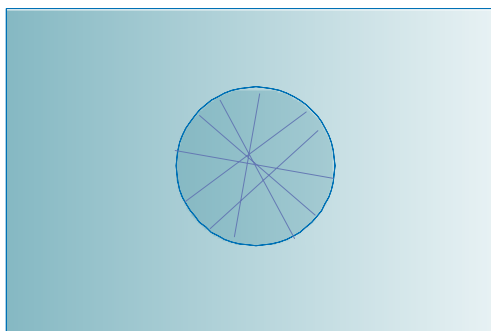
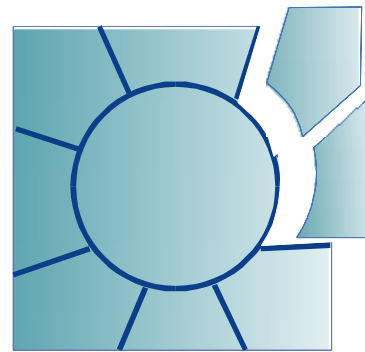
Abrir toda la línea que forma la curva antes de continuar.



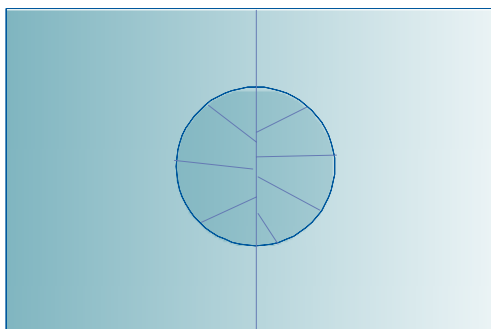
Marcar líneas desde la curva hacia afuera



Abrir las líneas y separar los fragmentos externos

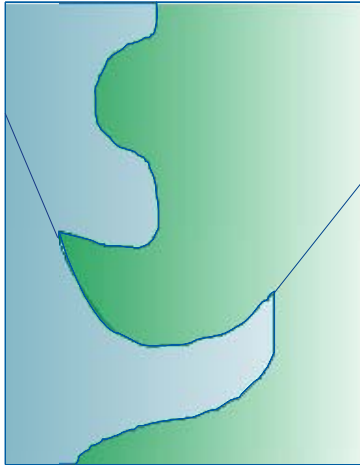


Esquema de corte de una pieza con una curva hueca dentro. Puede marcarse y abrirse primero la línea externa de la curva, y a continuación hacer muchas marcas interiores y abrirlas. Es un procedimiento arriesgado que no siempre sale bien.



Esquema de corte haciendo dos piezas; primero, se marca y abre el corte curvo; a continuación, se separa en dos partes y se extrae el vidrio del interior de la curva haciendo múltiples cortes, o cortes curvos como se vio más arriba.

Cuando se deben cortar formas complejas, hay que saber que el vidrio tiende a romperse en línea recta en dirección al borde más próximo. No siempre pueden hacerse los cortes de una sola vez y suele ser necesario trazar varias líneas de corte distintas.



Esquema de corte de un trazado complejo. Suponiendo que queramos conseguir la forma coloreada en verde, no puede hacerse en una sola pieza, será necesario trazar varias líneas y crear la forma con dos piezas distintas.

III.2.1.3. Preparación de los vidrios para la fusión. Distintos procedimientos de trabajo.

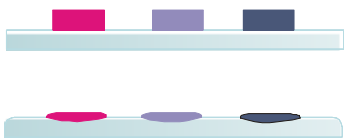
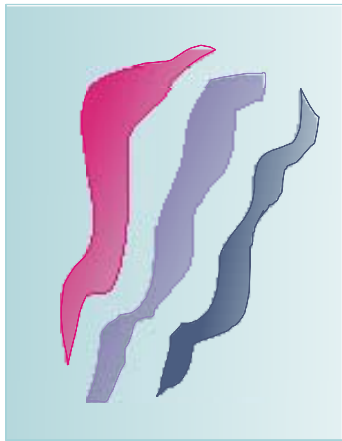
Existen dos formas principales de preparar las obras de vidrio para la fusión: el mosaico y el esmaltado. No son dos técnicas excluyentes y muchos artistas utilizan ambas mezcladas en mayor o menor medida.

Mosaico

Muchos de los artistas que a finales del siglo XX retomaron las técnicas de fusión pertenecían al ámbito de las vidrieras. Por esta razón, la creación de obras de fusión guarda cierta relación con aquéllas, sobre todo en la preparación de las obras antes de fundirlas.

El mosaico consiste en hacer composiciones con láminas de vidrio (transparente o coloreado, de un solo color o de varios). Para ello se cortan de manera que encajen unas con otras²⁴. La técnica básica supone utilizar una lámina de vidrio generalmente transparente en la que se montan y fijan el resto de piezas que compondrán la obra, bien sea sobre ella o bajo ella.

²⁴ Ver epígrafe anterior.



Los resultados son diferentes. Cuando un diseño determinado se cuece en fusión total sobre una lámina de vidrio, los contornos quedan desdibujados, las líneas son blandas y no se conserva totalmente la forma original. Sin embargo, si se funde debajo, las formas cortadas en las láminas de vidrio se mantienen y las líneas que las delimitan son nítidas.



En este detalle de una pieza de fusión en relieve puede observarse cómo los vidrios que están bajo otro, conservan nítidas las líneas de corte, mientras que en superficie, se suavizan y deforman éstas.

Para conseguir que las formas se mantengan cuando deben cocerse en la temperatura de fusión total, puede ponerse entre ellas vidrio transparente. También es recomendable poner una lámina transparente sobre todo el

conjunto, para que todas las piezas formen una sola masa sin que queden huecos ni fisuras entre ellas²⁵.

Uno de los problemas que podemos tener en este momento del proceso es el uso de un pegamento inadecuado para fijar las distintas piezas del proyecto. Puede producir gases y burbujas al quemarse en el horno.

Los distintos fragmentos de vidrio fueron fijados con un pegamento instantáneo fuerte, *Superglue*, y se produjeron unas burbujas negras al quemarse en el horno. He comprobado que otros pegamentos, como la goma arábica o la cola sintética blanca, no dejan residuos.



El mosaico tiene distintas variantes expresivas, según utilicemos vidrio cuidadosamente cortado, roto o en fragmentos pequeños.

Fusión de esmaltes y otras materias no vítreas.

Ciertos efectos expresivos pueden lograrse fundiendo entre varios vidrios, en sándwich, distintas materias que van desde fritas y esmaltes molidos, hasta inclusiones de todo tipo (orgánicas, metálicas, etc.). De estas técnicas me ocuparé en los capítulos siguientes de esta tesis²⁶.

III.2.1.4. Antidesvitrificadores.

Los vidrios desvitrificados presentan una superficie mate, ligeramente opacificada, que se debe a la formación de cristales de silicio en la superficie de la pieza²⁷.

La desvitrificación se debe principalmente a dos razones: una, que el vidrio tiene suciedad e impurezas en su superficie y otra, que se produce una subida o bajada demasiado lenta entre los 650° C y los 850° C. Si entre los 650° C y los 750° C se estaciona la temperatura, hay más riesgos de desvitrificación²⁸.

La primera causa de desvitrificación se evita fácilmente limpiando cuidadosamente los vidrios después de cortarlos. No deben quedar restos de grasa en ellos.

²⁵ MIRIAM DI FIORE, curso *Fusión y Termoformado*, mayo 1997, Fundación CNV, La Granja de San Ildefonso.

²⁶ Ver capítulo *Búsqueda de una paleta de colores* (p. 239), *Volumen interno en el vidrio* (p.290).

²⁷ Ver capítulo *El vidrio como material: características físico-químicas* (p.84).

²⁸ MIRIAM DI FIORE, ídem.

Respecto al exceso de tiempo en el intervalo 650°-850° C, como recomendación general para evitar la desvitrificación, no deben superarse los 45 minutos al subir de 550° a 830° y hay que bajar entre ambas temperaturas lo más rápidamente posible. Sin embargo, en muchos procesos de fusión no es posible un ascenso tan rápido de la temperatura, porque pueden formarse inclusiones de aire o porque puede alterarse el proceso de termoformado. A esto se suma el hecho de que no todos los hornos son lo bastante rápidos al calentarse. Un horno cerámico, por ejemplo, puede llegar a emplear casi hora y media en subir entre los 550° C y los 830° C, incluso a su máxima potencia (sobre todo si está completamente lleno con vidrio grueso), mientras que un horno de fibra cerámica especial para fusión, sólo emplea unos 30 minutos en ese mismo intervalo de temperatura.



Vidrio desvitrificado por estar cocido en un horno lento.

Cuando trabajamos con un horno lento, o con un proceso de fusión que requiere bastante tiempo, es necesario prevenir la desvitrificación por otros medios. Puede añadirse un antidesvitrificante (*overglaze o flux*), que no es sino una especie de esmalte brillante y transparente que cubre la superficie del vidrio. Los antidesvitrificantes están compuestos por vidrio de bajo punto de fusión (tanto plúmbico como no plúmbico) triturado hasta convertirlo en un polvo finísimo. Pueden mezclarse con un medio que facilite su uso, como un aceite volátil (de los que se usan en cerámica), u otro tipo de líquido que facilite su pulverización.

El uso de antidesvitrificantes también favorece la eliminación de marcas que, de otro modo, se fijarían en el vidrio, como huellas digitales, restos de aceite de las rulinas, etc.²⁹

Existen varios tipos de antidesvitrificante:

- Sódicos. Uno de ellos es el “vidrio líquido”, una disolución de sodio y sílice que actúa sobre la superficie del vidrio como un esmalte.
- Plúmbicos. Aunque su uso está muy extendido en el ámbito de la fusión, no son recomendables, ya que al pulverizarlos sobre el vidrio se pueden

²⁹ LUNDSTROM, B. y SCHWOERER, D. (1983), p. 30.

inhalar y son muy tóxicos. Después de fundir el vidrio, el plomo se sigue desprendiendo, por lo que no son aptos para el vidrio utilitario. El más conocido de ellos es el *Spray A*.

Para el vidrio float puede utilizarse el bórax, pero no ofrece tan buenos resultados con el vidrio Bullseye. Con éste conviene utilizar un antidesvitrificador de más calidad.

En las pruebas que yo he realizado, he utilizado bórax como antidesvitrificador con resultados desiguales según el modo de aplicación:

- Disuelto en agua. Al pulverizar sobre el vidrio, es muy difícil que el líquido se reparta por igual por toda la superficie, ya que no es porosa y las gotas resbalan o se agrupan en una determinada zona.
- Espolvoreado en seco con ayuda de un tamiz. El resultado es mejor, siempre que se extienda un velo homogéneo de bórax por toda la superficie del vidrio. En ocasiones es necesario triturar ligeramente los cristales de bórax (tienen la consistencia y la apariencia de la sal común) para conseguir que pasen a través de la trama del tamiz y se depositen sobre la superficie del vidrio con una textura lo más fina posible.

Un inconveniente que tienen los antidesvitrificadores en general (yo lo he podido comprobar con el bórax en particular) es que además de esmaltar la superficie del vidrio, son fundentes que bajan el punto de fusión del separador³⁰ y hacen que éste se pegue al vidrio. Para evitarlo, hay que ponerlos en el vidrio antes de llevar éste al horno, para evitar que parte del bórax vaya a parar a la bandeja. En el caso del bórax disuelto en agua es muy difícil evitar que cierta cantidad de líquido vaya a parar a la parte de atrás del vidrio (que se apoyará sobre la bandeja del horno), y cuando se pone en polvo, es preciso tener mucho cuidado al trasladar el vidrio al horno para que no caiga polvo de bórax en éste.

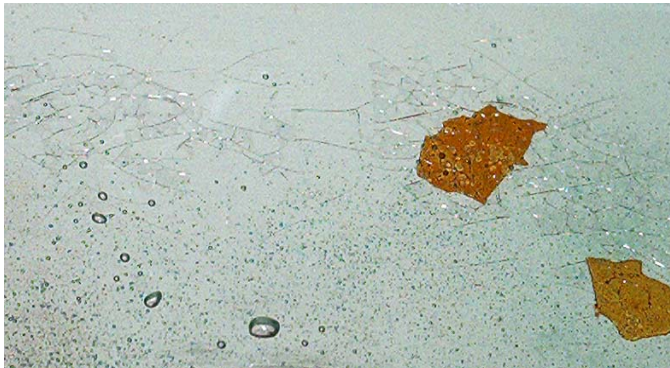


Parte de atrás de una obra de vidrio en la que el separador ha quedado pegado porque cayó bórax sobre él. Se cometió el error de espolvorear el bórax sobre las piezas una vez metidas en el horno, en vez de hacerlo antes.

Otro inconveniente del uso de bórax es que hay que poner una cantidad pequeña sobre el vidrio, pero muy homogénea. Si se pone mucha cantidad,

³⁰ Ver epígrafe siguiente.

surgen en la superficie del vidrio horneado pequeñas fisuras, que van haciéndose cada vez mayores con el paso del tiempo. Si la cantidad es pequeña, se ven zonas mates (por la desvitrificación) alrededor de pequeños puntos brillantes (correspondientes a los granos de bórax).



Las dos fotografías de la izquierda muestran fallos por exceso de bórax, que causan con el paso del tiempo descamación (abajo) y craquelado (arriba).

(Derecha) La superficie de este vidrio se trató con bórax en polvo como antidesvitrificante, pero se puso en poca cantidad, causando una superficie en la que, sobre una zona mate, desvitrificada, se ven puntos brillantes (granos de bórax)



Una vez aparecida la desvitrificación, puede recuperarse la pieza horneándola una segunda vez con un antidesvitrificador hasta la temperatura de fusión³¹; sin embargo, yo he comprobado que el bórax no es muy efectivo en esta segunda cocción, a no ser que se ponga también sobre la superficie del vidrio desvitrificado una capa de esmalte transparente o fritas en polvo.

Los antidesvitrificantes no deben pulverizarse sobre vidrios iridiscentes, ya que se perdería esta cualidad. Una forma de proteger estos vidrios es poner una

³¹ MOORMAN, S. (1990), p. 65.

máscara de papel sobre ellos cuando se ponga un antidesvitrificador sobre una obra, o poner los vidrios iridiscentes bajo una lámina de vidrio transparente.

Algunos antidesvitrificantes que contienen plomo pueden afectar a los vidrios coloreados produciendo un cambio de color, especialmente en aquellos que contienen selenio, como rojos y violetas, que suelen tender al pardo.

III.2.1.5. Los separadores.

El vidrio caliente a la temperatura de termoformado o fusión, se pega a cualquier superficie sobre la que esté apoyado cuando lo metamos en el horno. Si no se aplica alguna materia que separe el vidrio de la bandeja del horno, quedará pegado a ella y se romperá cuando se enfríe, porque ambas materias se dilatan y se contraen a diferente velocidad.

Para evitar que la bandeja del horno y el vidrio se peguen, se utilizan distintas sustancias llamadas separadores, compuestas de materias refractarias.

La superficie de atrás del vidrio nunca queda igual que la de delante, pero debe tener unas mínimas cualidades. Debe ser transparente, suave y brillante, no ser cortante y no tener formas o texturas causadas por el separador. Para conseguir una buena calidad en la cara inferior del vidrio hay que controlar el tipo de separador utilizado, cómo se aplica éste y la textura de la bandeja del horno³².

El separador, sea cual sea, tiene que estar totalmente seco antes de entrar en el horno. A no ser que se espolvoree en seco, hay que hornearlo previamente hasta los 250°-300° C. Una prueba para averiguar si realmente está seco, es acercar a la ventilación del horno un vidrio frío: si se empaña, hay que continuar calentando el separador. Si no se empaña, la humedad se ha evaporado. Si no se seca completamente, la humedad del separador atrapada bajo el vidrio puede causar problemas como burbujas, roturas o pegado³³. También puede producirse una película blanca tanto en la parte superior del vidrio, como en la que está en contacto con el separador³⁴.

Una vez seco el separador, es necesario esperar a que las bandejas del horno estén totalmente frías antes de poner los vidrios sobre ellas.

Además de los separadores comerciales, existen varias recetas que pueden hacerse en el taller³⁵:

- **Piedra pómez en polvo o pumicita.** Es el mejor separador. Es barata y deja una superficie con muy buenas cualidades; sin embargo, resulta difícil extenderla y conseguir una zona plana. En mis pruebas, intenté diluirla en

³² LUNDSTROM, B. y SCHWOERER, D. (1983), pág. 38.

³³ *Ibíd.*, pág. 37.

³⁴ MOORMAN, S. (1990), pág. 63.

³⁵ MIRIAM DI FIORE, curso *Fusión y termoformado*, mayo 1997, Fundación CNV de La Granja de San Ildefonso.

agua para poderla extender con una brocha, pero al humedecerse adquiere una textura granulosa como arena fina. Mezclada con otras materias, como alúmina o caolín no mejora la textura y también se queda pegada a la brocha. La mejor manera de utilizarla es tamizarla en seco sobre la bandeja del horno. El problema es que la textura es difícil de alisar. Sirve para vidrio float y catedral, pero no puede usarse en varias cocciones. Hay que retirar la que ya se ha cocido y ponerla nueva cada vez.

Puede reutilizarse cuando se quieren hacer termoformados³⁶ con una gruesa capa de pumicita. Debajo se pone la que ya está cocida y sobre ésta, una capa fina de pumicita nueva.

Otra forma de aprovechar la pumicita cocida es utilizarla en los moldes de escayola refractaria.

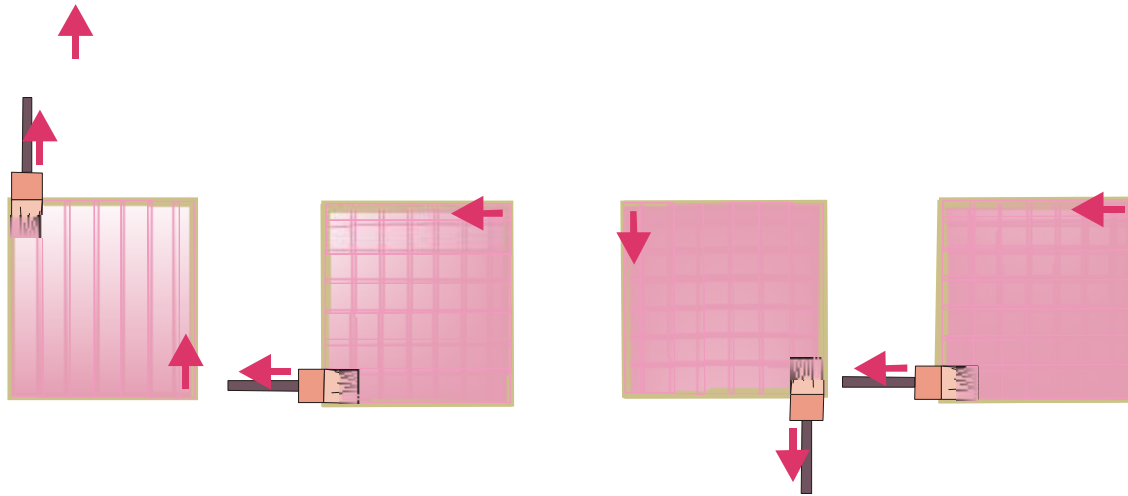
- **Alúmina (50%) y caolín (50%).** La proporción se calcula por peso. Es un separador con ciertas limitaciones, ya que se pega con algunos tipos de vidrio (como el Bullseye). Sirve para el vidrio float y da mejores resultados en horno lateral que en horno de calor superior.
- **Escayola.** Funciona bien con vidrio muy blando, que requiere elevar poco la temperatura de fusión. Tiene mucho riesgo de crear burbujas, a no ser que se hornee antes a 800° C.
- **Talco ventilado (25%), caolín (50%), alúmina (25%).** Tiene las mismas limitaciones que el separador de caolín y alúmina.
- **Carburo de silicio muy fino (15%), pumicita (60%), caolín-alúmina (25%).** La cantidad de carburo de silicio debe ser pequeña, pues de lo contrario deja un velo grisáceo traslúcido en el vidrio.
- **Blanco de España.** Se debe calcinar en el horno a 850° C antes de utilizarse. Hay que hacer una meseta prolongada a esa temperatura, para que el sulfuro que pueda contener se transforme. De lo contrario, deja marcas en la superficie del vidrio.

Los separadores comerciales son de varios tipos. Generalmente, se disuelven con agua y se extienden sobre la bandeja del horno con una brocha fina o con un pulverizador a presión. El que yo he utilizado es el separador *Shelf Primer* de *Hot Line* (en sus dos versiones, normal y para alta temperatura, aunque no he hallado grandes diferencias entre ellas). Para extenderlo he utilizado una brocha japonesa, que deja una fina textura en la que se aprecian las pinceladas a pesar de todo, y un rodillo fino cuya textura también queda marcada, pero no se destaca tanto como las huellas de brocha. Sin embargo se descascarilla con mayor facilidad.

Algunos separadores comerciales tienen un tinte rosa o violeta, que desaparece cuando se ha horneado. De este modo es fácil saber si el

³⁶ Ver capítulo *Creación de volumen mediante las técnicas de fusión. Termoformado.*

separador está fresco o no. Deben ponerse al menos cuatro manos de separador, cada vez en una dirección distinta:



Si se desea una superficie aún más lisa, después de secar y hornear el separador, puede frotarse muy suavemente con un trapo seco y suave, o incluso con la mano. Se desprende una capa muy fina de polvo de la superficie, y se eliminan las marcas de brocha.

Otros separadores comerciales vienen en polvo y se extienden sobre las bandejas con un tamiz. No es necesario hornearlos previamente, pero la textura que dejan sobre el vidrio es granulosa.

Algunas propiedades del separador se pierden después de una cocción a altas temperaturas. Por esta razón, se recomienda poner una nueva capa en cada cocción, eliminando cuidadosamente el separador viejo con una espátula o lija. Con algunos procesos de fusión que no requieren altas temperaturas, como el termoformado, no será preciso renovar cada vez el separador. Algunos vidrios son especialmente sensibles al separador viejo, como el Bullseye. Sin embargo, en mis pruebas he utilizado con éxito el mismo separador con vidrio float, a temperaturas elevadas, hasta cuatro cocciones seguidas.

Algunos de los errores que se cometen con el separador son estos³⁷:

- Aplicarlo en una capa demasiado gruesa (el separador está disuelto en poco agua), que se descascarilla y deja marcas.
- No eliminar totalmente el separador viejo, por lo que se forma una capa gruesa en la que predomina la materia que no sirve ya.
- Dejar gotas gruesas en los lados de la placa del horno, que pueden caer durante la cocción sobre los proyectos de vidrio que estén debajo, cuando se trabaja con hornos laterales donde se apilan varias bandejas.

Cuando el separador se pega al vidrio hay que limpiarlo utilizando algún ácido. Hay productos específicos como el limpiador de *Hot Line*. Algunos autores recomiendan sumergir la pieza de vidrio afectada en vinagre durante varias

³⁷ LUNDSTROM, B. y SCHWOERER, D. (1983), p. 39.

horas³⁸, pero yo no he conseguido eliminar el separador de esta manera. He experimentado que se obtienen buenos resultados con una disolución de aguafuerte en agua (1 parte de aguafuerte por 5 de agua), aunque el antidesvitrificador (bórax) reacciona mal con este ácido, y se desprende de la superficie del vidrio dejando una textura polvorienta y blanquecina que es muy difícil de eliminar, a no ser que se hornee la obra de nuevo. Por esta razón hay que evitar introducir la superficie superior de vidrio en la disolución de aguafuerte. Siempre que se manipule este ácido hay que usar guantes de goma.

Además de estos separadores, se comercializa un papel de fibra cerámica fino que sirve para el mismo fin. Lo hay desde 0,2 mm de grosor hasta 3 mm. Sólo puede utilizarse una vez, y puede adherirse a los bordes de la obra si no se elimina el exceso de papel saliente debajo del vidrio.

III.2.1.6. De la fusión en relieve a la fusión total. Posibilidades expresivas en el ámbito artístico.

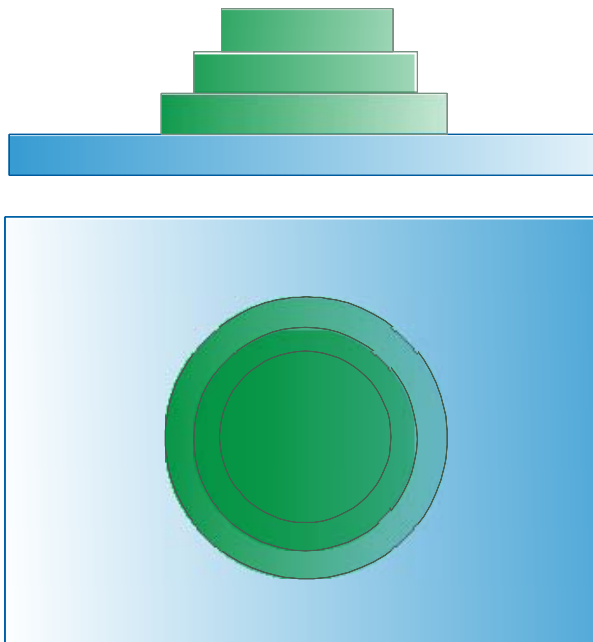
Ya hemos dicho más arriba que no hay un rango de temperaturas específicas para la fusión en relieve o para la fusión total. Al principio, es necesario controlar visualmente el grado de fusión que se desea, para detener el aumento de la temperatura en ese momento. A partir de los 720° C (esta temperatura puede variar en función del tipo de vidrio y de horno) hay que vigilar cómo se está produciendo el proceso de fusión. Si una vez alcanzada la temperatura máxima que se había programado aún no hay el grado de fusión que se desea, puede subirse la temperatura o incrementar el tiempo que el vidrio permanecerá en ese nivel de calor. De los dos modos puede conseguirse aumentar el grado de fusión de los distintos componentes de una obra.

Cuanto mayor sea la temperatura alcanzada, más redondeados estarán los bordes de las piezas de vidrio, y más se integrarán en una sola forma plana, perdiendo su volumen inicial.

Una de las posibilidades expresivas de la fusión es la creación en la superficie de la obra de relieves más o menos altos, formados por la superposición de láminas de vidrio. Como ejemplo mostraré cómo puede formarse un efecto de lente³⁹ mediante esta técnica, pues se refleja claramente la importancia de la temperatura.

³⁸ WALKER, B. (2000)

³⁹ NARCISSUS QUAGLIATA, curso *Pintura de luz*, septiembre 1996, Fundación CNV de La Granja de San Ildefonso.



Esquema básico de la disposición de vidrios para crear una fusión en relieve de efecto lupa; arriba, una presentación lateral; abajo, visto desde arriba. Se trata de superponer varios círculos de diámetros progresivamente mayores, sobre un vidrio plano que se usará como base.

Temperatura baja de fusión en relieve. Esta temperatura, en el horno de fusión, está entre los 780° C y los 800° C para el vidrio de ventana Planilux de Cristalería Española. El efecto lupa no se consigue, sólo se redondean las aristas. El resultado sería como el que se muestra en el gráfico siguiente:



Temperatura media de fusión en relieve. En este caso, la temperatura en el horno de fusión para el vidrio de ventana Planilux de Cristalería Española, está entre los 800° C y los 820° C. Las formas aparecen aún más redondeadas, pero aún se conserva la diferencia entre las distintas formas y volúmenes, que en ocasiones se marca como una línea más oscura delineando los contornos.



Detalle de una obra en la que se han apilado tres formas redondeadas de vidrio float gris, pero la temperatura no se ha elevado tanto que las tres láminas dejen de diferenciarse.



Temperatura alta de fusión en relieve. En el caso del vidrio float de Cristalería Española, con el horno de fusión, está entre los 820° C y los 835° C. Las aristas se han redondeado totalmente y los círculos forman una sola masa, aunque aún conserva bastante de su volumen.



Detalle de una obra en la que se ha creado un efecto lupa de vidrio transparente apilado sobre un vidrio naranja. La temperatura ha sido suficiente para que los tres vidrios que formaban el conjunto se hayan fundido en una forma única que conserva su volumen.



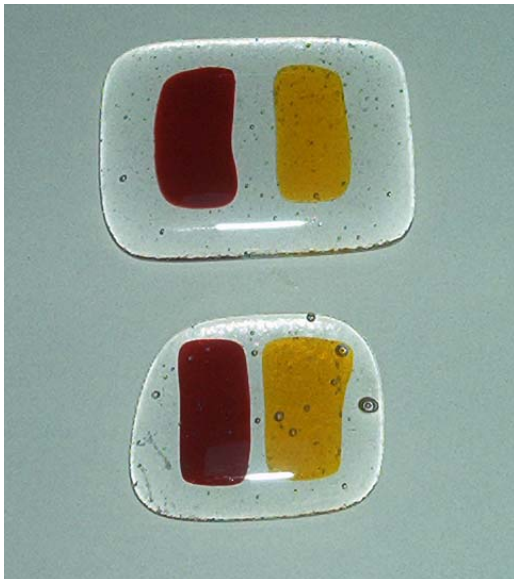
Si se sobrepasa este rango de temperaturas nos hallamos ya ante fusión total, pues el volumen tiende a desaparecer y la pieza se hace cada vez más plana.



El grosor del vidrio que hemos llamado “de base” influye sustancialmente en la temperatura necesaria para conseguir fusión. Por ejemplo, una lámina de 3 mm usada como base, más un diseño formado de pedazos de vidrio de color de 3 mm de grosor sobre o bajo ella, necesita (en el horno de fusión y con vidrio Bullseye) sólo 810° C para llegar a fusión total. Sin embargo, el mismo diseño sobre dos láminas de 3 mm o una de 6 mm necesitará 825° C. Igualmente, una base de 3 láminas de 3 mm cada una, requiere llegar hasta 835° C para conseguir fusión total.

Cuando se trabaja con una sola lámina de 3 mm de grosor como vidrio de base, y la cantidad de vidrio depositada encima para crear un diseño es pequeña (es decir, no equivale en total a superponer dos hojas de 3 mm de grosor), el vidrio encoge en su superficie. La pieza, una vez horneada, será más pequeña que cuando se metió en el horno. Esto se debe en parte al fenómeno de la tensión superficial del que hemos hablado antes. Algunos autores recomiendan cortar la base de un tamaño entre 13 y 19 mm mayor que el tamaño final deseado⁴⁰ para compensar este encogimiento, pero hay que valorar que depende no sólo del grosor, sino también del tipo de vidrio utilizado y de la medida de la superficie de la lámina de vidrio.

Sin embargo, cuando el mismo diseño se coloca sobre o bajo dos láminas de 3 mm o una de 6 mm no se produce encogimiento. La pieza después de horneada mide prácticamente igual que antes, pero es algo más gruesa.

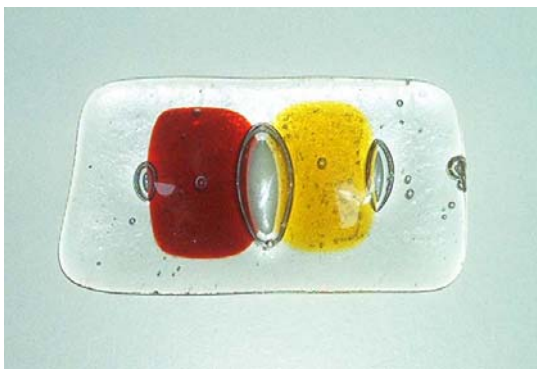


Estas dos pruebas se han hecho colocando bajo el vidrio transparente las dos láminas de color. En la de arriba, se pusieron dos vidrios transparentes de 3 mm cada uno; en la de abajo, un solo vidrio de 3 mm. Puede apreciarse el encogimiento producido en la de 3 mm, que se compensa con un ligero engrosamiento.

⁴⁰ MOORMAN, S. (1990), p. 68.

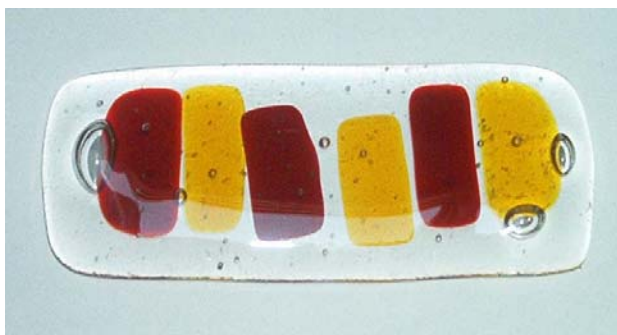
Un efecto bastante distinto se produce cuando se coloca el diseño en sándwich entre dos láminas de vidrio transparente. En este caso, el riesgo de producir burbujas de aire ocluido es muy grande, ya que los vidrios de color oscuro maduran antes que los de color claro. Para evitar la aparición de burbujas, pueden probarse varias opciones:

- Poner láminas de vidrio transparente que delimiten y encajen perfectamente con las láminas cortadas según el diseño.
- Colocar unos fragmentos pequeños de vidrio transparente entre las láminas, de manera que, aunque los vidrios de color maduren antes, no se cierre el espacio entre los dos vidrios transparentes.
- Subir despacio la temperatura entre los 600°C y los 700°C.



Burbujas de aire atrapadas tras colocar dos láminas de vidrio de color en sándwich entre dos vidrios transparentes.

Se consigue un efecto tridimensional interesante si se coloca el diseño en color en tres capas (bajo vidrio, entre vidrios y sobre vidrio). El riesgo de que salgan burbujas de aire es el mismo que en el caso anterior. Generalmente el grosor resultante es como el de un vidrio de 9 mm, pero puede variar en función de la cantidad de vidrio que componga los diseños de color.



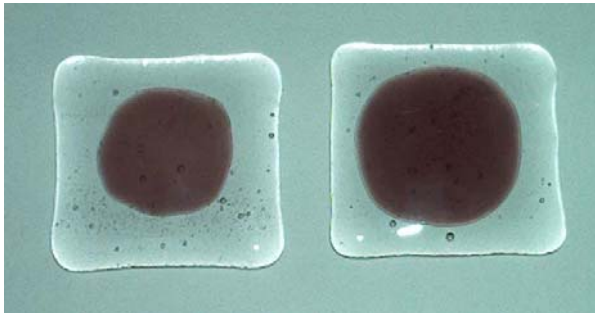
Prueba con vidrios de color situados bajo, entre y sobre vidrios transparentes según el esquema que se ve arriba.

Al sobrepasar la temperatura de fusión plana, la pieza de vidrio se va haciendo cada vez más fina y con una superficie mayor. Cuando se quiere conservar la forma de la obra, es necesario utilizar unas barreras laterales que impidan que el vidrio se desparrame sobre la bandeja del horno cuando esté fluido. Generalmente se utilizan barreras de fibra cerámica tratada con endurecedor de moldes y separador. Las barreras deben situarse a una distancia de un par de milímetros del vidrio; si están más cerca, el vidrio al dilatarse se apoya en

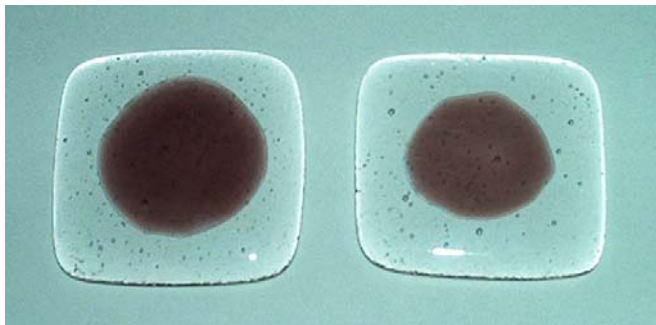
los bordes y adquiere una forma inadecuada; si están demasiado lejos, no servirán para su función.

La forma del diseño creado con vidrio laminado también varía en función de la temperatura. Si se quiere conservar la forma exacta de los cortes que se han hecho, el diseño en color debe ponerse bajo la lámina de vidrio transparente. Si, por el contrario, el diseño debe estar en superficie, es necesario controlar la relación entre:

- Volumen inicial del vidrio de base y grosor del diseño colocado sobre él. Si el vidrio de base tiene 3mm de grosor, y el vidrio colocado sobre él otros 3mm, no habrá muchos cambios ni en el tamaño del diseño, ni en la forma del contorno de la pieza. Sin embargo, cuando el diseño es más grueso de 3 mm, y es igual o más grueso que el vidrio de base, al llegar a fusión total se expande sobre aquél, cambiando tanto su forma como el contorno de la pieza.



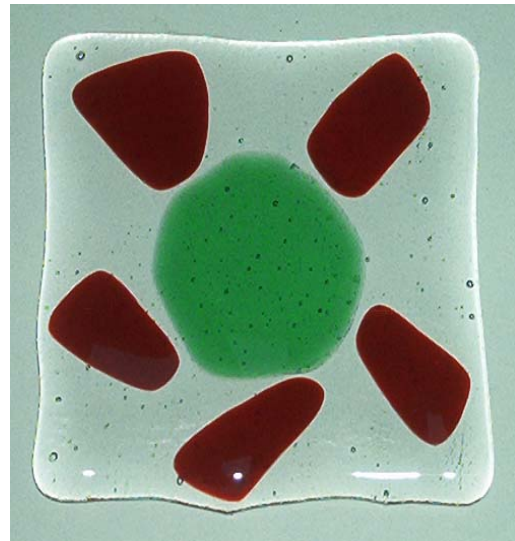
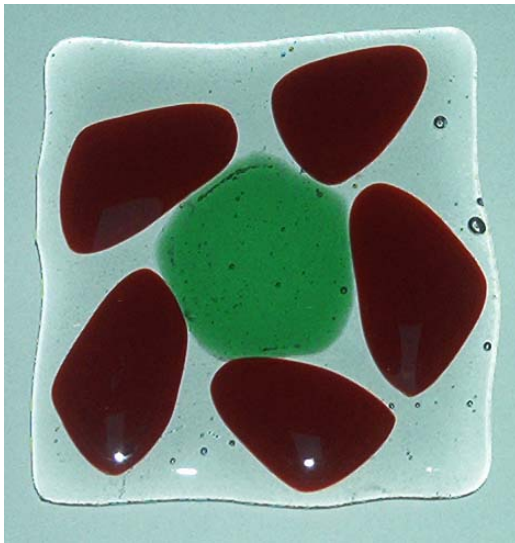
La prueba de la izquierda tiene un vidrio de base de 3mm de grosor sobre el que se ha puesto un círculo violeta del mismo grosor. Se ha conservado la forma y el tamaño del diseño. La de la derecha tiene un vidrio de base de 3 mm, pero se colocó sobre ella un círculo de 6 mm de grosor. Al llegar a fusión total, se ha expandido y su diámetro es mayor que antes.



En estas dos pruebas se ha usado un vidrio de base de 6 mm de grosor, sobre el que se han puesto (de izquierda a derecha) un círculo de 6 mm de grosor y otro de 3 mm de grosor, respectivamente. El de 3 mm apenas ha sufrido deformación; el de 6 mm se ha expandido.

- Calor aplicado. Se conserva mejor el diseño si se hace una meseta a una temperatura algo más baja en vez de elevar la temperatura hasta fusión total.
- Distancia desde el borde del vidrio de color hasta el borde del vidrio de base. Cuando el vidrio que forma el diseño es de 6 mm o más de grosor, hay que dejar al menos 2 cm desde el borde hasta el diseño⁴¹.

⁴¹ LUNDSTROM, B. y SCHWOERER, D. (1983), p. 49.

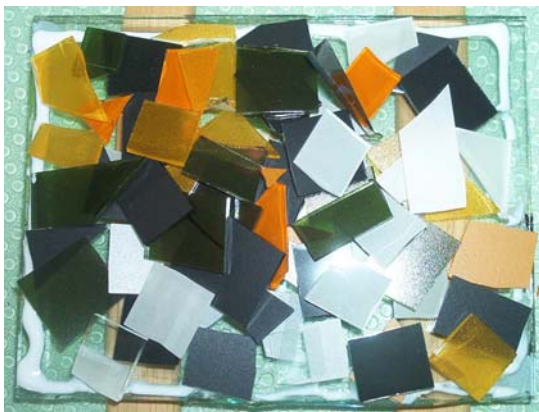


La prueba de la derecha está constituida por un vidrio de base de 3 mm de grosor, mientras que el diseño (sólo las formas en rojo) tiene 6 mm de grosor. No sólo se han expandido cambiando mucho su forma, sino que además el contorno de la pieza se ha deformado para “encajar” esa cantidad de vidrio. En la prueba de la derecha, el diseño sólo tenía 3 mm y la deformación del contorno se ha producido sólo en las zonas más próximas a los bordes.

III.2.1.7. Algunas variantes de los procesos de fusión.

Acumulaciones

Consisten en apilar, de un modo más o menos ordenado, varias láminas de vidrios que pueden ser o no de diferentes colores. La forma más caótica se realiza mezclando de manera aleatoria fragmentos de vidrio compatibles entre sí, sobre la superficie de la bandeja del horno, o sobre un vidrio transparente utilizado como base.



Acumulación realizada con fragmentos rectangulares de vidrio lacado. A la izquierda, los fragmentos se han dejado caer sobre un vidrio transparente compatible, en cuyos bordes se ha puesto pegamento para evitar que los rectángulos de color se deslicen. A la derecha, resultado después de fundir.



Acumulación creada utilizando fragmentos de vidrio transparente (sobrantes de cortes) colocados al azar entre unas barreras de fibra de vidrio, que actúan como molde, dentro del horno. A la derecha puede verse el resultado después de cocer.

Un trabajo basado en las acumulaciones es el de Monique Vachon⁴², artista canadiense que acomoda horizontalmente múltiples teselas de vidrio compatible, formando torres unas junto a otras. Después cuece las obras a una temperatura algo más alta que la de fusión en relieve, para conseguir que las distintas piezas se unan, pero sin perder completamente su disposición y volúmenes iniciales.

Prefusiones.

Son en realidad un tipo de acumulación, pero planeado. Consisten en hacer fusión total con torres de vidrios de colores que, al fundirse, forman una masa gruesa con un diseño lineal en su interior. Pueden hacerse prefusiones con moldes que mantengan las formas rectangulares de los trozos de vidrio, ya sean estos de fibra cerámica, escayola refractaria, o acero inoxidable. El resultado son barras con líneas paralelas. También se puede dejar que las pilas de vidrios se escurran libremente hacia abajo, formando unas tortas aplanadas con grafismos imprevisibles en su interior.

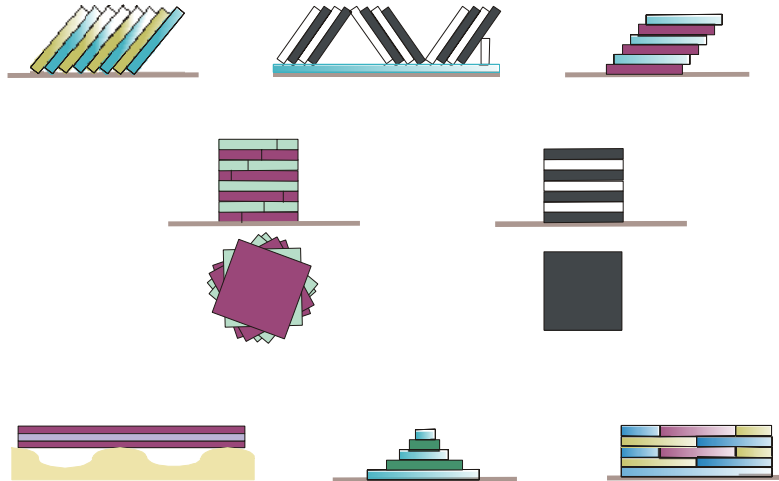
Barra compuesta por vidrios opales de colores, que ha sido profundida para después cortarla y usar los fragmentos como elementos gráficos dentro de las obras de fusión.



⁴² Citada por BUBBICO, G.; CROUS, J., y G. (1999), p. 62.

Pueden cortarse en láminas, ya sea con un cortavidrios (si es muy gruesa, después de marcar habrá que golpear con un instrumento punzante y un martillo) o con una sierra para vidrio⁴³. Se descubren así variados grafismos internos que pueden disponerse nuevamente sobre un vidrio de base y volverse a fundir, consiguiendo obras basadas en patrones geométricos repetidos.⁴⁴

Algunos modos de apilar vidrios de color para conseguir diferentes efectos gráficos. Abajo, a la izquierda, sobre una plancha de fibra cerámica.



Algunos artistas se han especializado en este tipo de trabajo, como Rudy Gritch y Klaus Moje.

Klaus Moje.
1- 1996- #8



⁴³ Otros instrumentos de corte pueden ser una sierra para piedra, WALKER, B. (2000), página web de Warm Glass.

⁴⁴ Es el mismo principio de los vasos de millefiori egipcios y romanos del siglo I, sólo que en ese caso las murrinas solían hacerse en caliente, con vidrio fundido en masa, ayudándose de puntiles y varios crisoles con vidrios de colores distintos.

Fusión de hilos

Hay dos tipos de hilos de vidrio: los hilos rectos, o *stringers*, y otros hilos de formas curvas y caprichosas, formados al dejar gotear libremente el vidrio caliente en masa desde un ferre⁴⁵. En los dos casos, pueden utilizarse en las técnicas de fusión de varias maneras:

- Como elementos compositivos para crear prefusiones.
- Como elementos lineales en una composición; para ello se les puede dar la forma deseada calentándolos y ablandándolos con ayuda de una vela.
- Como integrantes únicos de la obra de vidrio, que estaría entonces compuesta por hilos de vidrio paralelos o entrecruzados, fundidos entre sí, y no por láminas de vidrio.

James Vollmer
Bowl.



Este último proceso de trabajo supone, en primer lugar, extender los hilos de vidrio unos junto a otros sobre una superficie y fundirlos en el horno a una temperatura más baja que la que se utiliza para fundir láminas de vidrio. Generalmente suelen bastar 750º C, ya que lo que se pretende es constituir una unidad con los hilos lo bastante gruesa para que tenga consistencia, pero en la que se perciba la textura lineal de la superficie. Después, esa hoja así formada puede trabajarse con otras técnicas como el termoformado.

⁴⁵ LUNDSTROM, B. (1991). P. 47.

III.2.2. DISTINTOS TIPOS DE VIDRIO PARA LAS TÉCNICAS DE FUSIÓN.

Utilización de vidrios coloreados.

La mayoría de las pruebas y experimentaciones técnicas descritas en esta tesis se han realizado con vidrio float de Cristalería Española por ser un material fácilmente asequible en cuanto a su accesibilidad y su precio. Permite muchas posibilidades ya que está disponible en varios tonos y grosores, dando buenos resultados en la cocción. Sin embargo, trabajar con este vidrio supone ajustarse a la limitada gama de colores: transparente (blanco), gris y rosado. Son todos tonos transparentes, pero es necesario testar su compatibilidad, pues aunque son del mismo fabricante, es posible que las alteraciones en la composición para introducir el color supongan también alteraciones en su coeficiente de dilatación. Tanto el vidrio float transparente como los demás han sido creados para un uso muy distinto al trabajo de fusión en el horno, por lo que no se asegura que mantengan su coeficiente de dilatación (puede variar de unos colores a otros, o incluso de unas hornadas a otras).

Existen vidrios especialmente fabricados para su utilización artística en el horno cerámico o el de fusión. Generalmente son vidrios que se estiran por procedimientos muy distintos a los del vidrio float, más artesanales. La característica más destacable de estos vidrios es que suelen traer una etiqueta que los identifica como *testados compatibles*, y un coeficiente de dilatación conocido y estable a lo largo de diferentes hornadas. El más conocido de ellos es posiblemente el vidrio Bullseye, aunque cada vez más fabricantes de vidrio hacen gamas de productos compatibles, como Spectrum, Uroboros, Wasserglass, DeSag, etc.

El trabajo con estos vidrios consiste básicamente en cortar y unir las distintas piezas de color sobre una base de vidrio (también de color o transparente) y crear una composición, que puede ser fundida hasta fusión total o hasta fusión en relieve, y posteriormente puede ser termoformada.

Existe una alternativa más barata a los vidrios coloreados, y es el uso de vidrios *lacados* o esmaltados. Estos vidrios están cubiertos por una capa uniforme de esmalte de color, generalmente sin cocer. Pueden cortarse y componerse casi como los vidrios de color, aunque los tonos que se consiguen no son tan saturados ni tan transparentes. Los vidrios lacados pueden comprarse o prepararse en el propio taller.

III.2.2.1. Términos relativos a los vidrios planos

Hay dos principales categorías de vidrio plano⁴⁶:

Vidrio antiguo: es el fabricado mediante alguna técnica artesanal, generalmente soplado. Tiene una superficie brillante e irregular, diferente en cada hoja.

Vidrio laminado: se suele realizar a máquina, laminando sobre una superficie metálica caliente, sobre la que se vierte en estado casi líquido.

El vidrio artesanal, o antiguo, puede fabricarse mediante alguna de estas técnicas:

*Discos o coronas ("crown glass")*⁴⁷; el maestro vidriero sacaba una posta de vidrio, en la que hacía una burbuja que iba abriendo hasta convertirla en un plato: se giraba rápidamente cerca de la boca de un horno, de manera que el calor y la fuerza centrífuga obligaban al disco a expandirse afinándose más y más. La zona más gruesa era la central, conocida como ojo de buey, y se usaba en ventanas decorativas o como lente.

Cilindros o manchones. Se sopla una gran posta de vidrio en un molde cilíndrico. Al cilindro, una vez recocido y frío, se le corta el fondo y se hace un corte en el lateral, paralelamente a su eje. Después se aplanan volviéndolos a calentar en un horno, sobre una superficie horizontal. La calidad de este vidrio es más pobre.

Hay varios tipos de vidrio laminado, en relación con su modo de fabricación. Los términos más importantes son:

Vidrio flotado o float, que se fabrica gracias a una gran balsa con una cantidad continua de vidrio fundido, que sale entre dos rodillos a una piscina de estaño líquido; después va a una cámara continua de recocido. El vidrio fabricado así es una lámina continua que tiene sus dos caras pulidas y de un grosor completamente uniforme.

*Vidrio de rodillo*⁴⁸ o *laminado a mano*⁴⁹, fabricado pasando vidrio caliente, blando, entre dos rodillos o vertiéndolo sobre una plancha metálica caliente, donde se aplanan con un rodillo. Los rodillos se refrigeran continuamente con agua para evitar que se peguen al vidrio caliente. Esta técnica también se llama de colado discontinuo⁵⁰. Las láminas fabricadas por estos procedimientos tienen grosores irregulares y cierta textura, pero buenas cualidades ópticas.

⁴⁶ GERSTEIN, M., y WRIGLEY, L. (1997), p.10.

⁴⁷ SHELBY, J. (1997), p. 219.

⁴⁸ MOORMAN, S. (1990), p. 6.

⁴⁹ GERSTEIN, M., y WRIGLEY, L. (1997), p.12.

⁵⁰ FERNÁNDEZ NAVARRO (1991), p. 228.

Semiantiguo, antiguo de máquina un vidrio realizado a máquina de aspecto similar al soplado, pero más uniforme.

En relación al color y la transparencia de las láminas de vidrio, pueden clasificarse en:

Vidrio catedral: es un vidrio transparente que puede tener color.

Vidrio opalino, opalescente u opal: son vidrios traslúcidos, que pueden ser desde semitransparentes a casi opacos.

Vidrio doblado (flashed glass): es un vidrio antiguo soplado de un color generalmente claro que después ha sido bañado en otro color. Al estirarlo, cada una de sus caras es de un color distinto, siendo la segunda muy fina y tenue. Cuando se trabaja con alguna técnica en frío (corte, talla, pulido, arenado...) aparece el color de debajo, y pueden hacerse gradaciones de tonos en función de la cantidad de vidrio desbastada (técnica camafeo).

Algunos tipos de vidrio especial tienen bastante relevancia en el trabajo de fusión con otros vidrios, como los iridiscentes y los dicróicos, de los que se habla a continuación.

III.2.2.2. Vidrios iridiscentes.

Las iridiscencias son depósitos metálicos sobre el vidrio. Se hacen en caliente (a una temperatura entre 430° y 800° C según el tipo de producto utilizado para crear iridiscencias), cuando el vidrio está llegando al estado líquido.

Para hacer vidrio iridiscente, puede prepararse una solución de clorhidro de estaño, con una fórmula como esta⁵¹:

- Una parte (por volumen) de cristales de clorhidro de estaño
- Una parte (por volumen) de ácido muriático
- Dos o tres partes por volumen de agua.

La mezcla no debe guardarse en un envase de metal (el ácido lo descompondría) ni en uno de plástico (la cercanía del horno lo derretiría).

Cuando el horno ha llegado a los 750° C, se abre y se rocía el vidrio con la solución que se ha preparado. Debe hacerse con máscara para gases tóxicos, y mejor aún si el horno está al aire libre. Después, se enfría y recuece el vidrio.

Otros productos para hacer iridiscente el vidrio no requieren llegar a los 750°, sino apenas a los 430°, como los llamados *Termolustres*; sin embargo, estos productos se queman si se asciende más la temperatura y no pueden volverse a recocer.

⁵¹ LUNDSTROM, B. (1991), p. 69.

Los vidrios iridiscentes preparados por las empresas que suministran productos para fusión y termoformado permiten llegar a las temperaturas de fusión sin perder sus cualidades.

Se pueden utilizar poniendo la cara iridiscente hacia arriba o hacia abajo. Esta cara no se pega a nada, y puede usarse hacia abajo con muy poco separador. Un iridiscente puede pegarse a otro y hacer un efecto peculiar:



No se pegan



Sí se pegan

No hay que añadir bórax u otro fundente a un vidrio iridiscente: lo mancha. Las iridiscencias pueden alterarse y moverse poniendo fritas sobre su superficie.

Bullseye fabrica vidrios iridiscentes compatibles con sus productos. Hay otra empresa, Uroboros, especializada en este tipo de productos, que también ofrece una gama de iridiscentes compatibles con un coeficiente de dilatación de 96.

III.2.2.3. Vidrios dicróicos

Los vidrios dicróicos tienen unas cualidades ópticas especiales y unos efectos metalizados con reflejos que cambian en función de cómo les dé la luz. Su superficie parece un espejo que refleja todos los colores, y tiene la apariencia de un holograma. Se fabrican en una cámara de vacío; los materiales con propiedades dicróicas son vaporizados en un crisol mediante la emisión de un alto voltaje de electrones⁵². De este modo, se ponen múltiples capas de materiales metálicos preciosos sobre el sustrato transparente del vidrio. Estos materiales reflejan y refractan determinadas longitudes de onda de la luz, lo que les da su aspecto peculiar.

Este vidrio es muy caro; un fragmento de 10 cm² cuesta más de 60 €. Por esa razón, no se tira ni un fragmento. Cuando se corta, se pone debajo un plástico para recoger cualquier esquirla, porque incluso el polvo de dicróico puede incorporarse a una pieza.

El interés de este producto es su tridimensionalidad: los tonos se mueven al moverse el espectador alrededor de él.

⁵² Catálogo de Fusing, BOHLE-MAQUIMETAL, 2001, p. 23.

III.2.2.4. Algunas generalidades respecto al uso de vidrios coloreados.

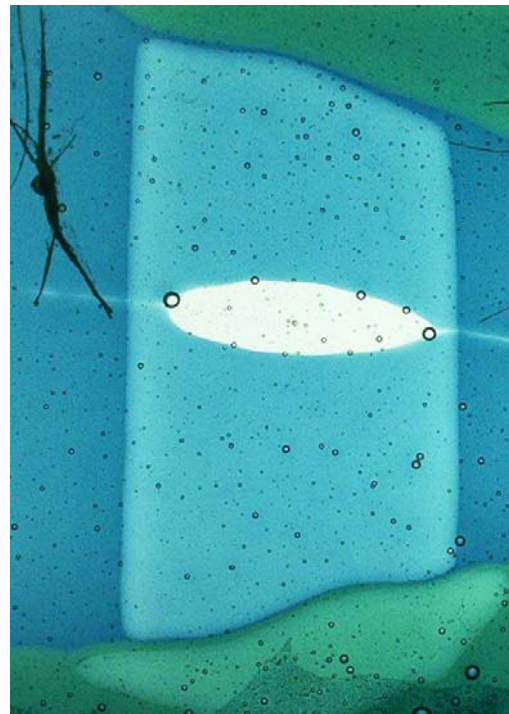
Los vidrios amarillos y rojos se colorean con cadmio y selenio. Su estructura molecular puede cambiar al calentarse y volverse incompatible al cambiar su coeficiente de dilatación⁵³. Cuanto más oscuros sean los colores, más pronto se ablandan y se redondean las esquinas, necesitando menos tiempo o menos temperatura para termoformarse y fundirse.

Los amarillos de cadmio son muy intensos. Los rojos de selenio y cadmio tiran a “cereza”, mientras que los de oro tiran a burdeos o a granate. Estos últimos pueden fundirse varias veces sin que se altere su color; los anteriores cambian a rojo oscuro, o a naranja. Cuando una pieza tiene que cocerse varias veces, conviene poner al final los colores que se modifican con el calor, para que sufran menos.

Al hacer fusión con vidrio coloreado, hay que recordar que funciona como las acuarelas. Si ponemos un fragmento transparente sobre un vidrio coloreado, éste se aclarará; si ponemos varias capas de vidrio transparente de color, unas sobre otras, el tono será progresivamente más oscuro.



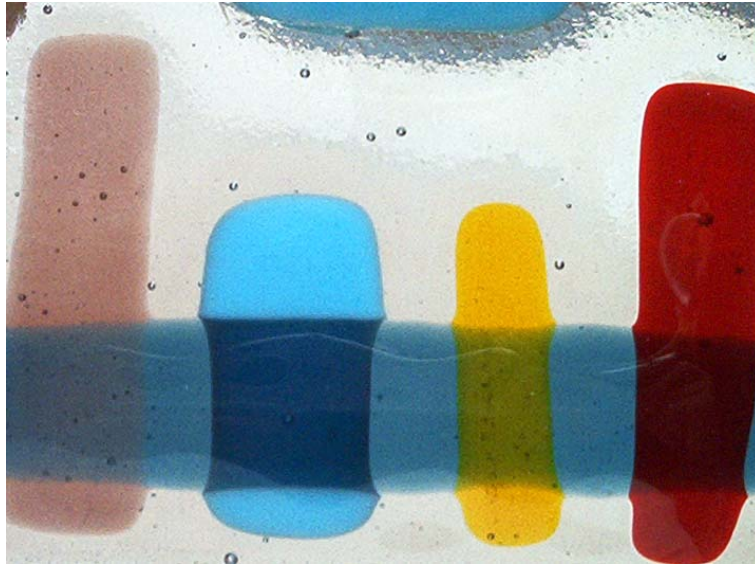
Los colores progresivamente más oscuros se han logrado superponiendo en las zonas más claras una sola capa de vidrio de color, y en las más oscuras, tres capas.



Los colores azul claro y verde claro de esta pieza se han conseguido poniendo vidrio transparente encima de los vidrios de color, y llevándolos hasta fusión total.

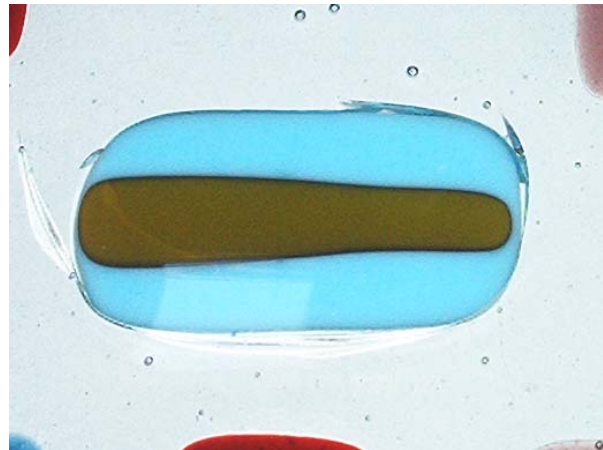
⁵³ MIRIAM DI FIORE, curso *Fusión y termoformado*, mayo 1997, Fundación CNV de La Granja de San Ildefonso.

Poniendo dos vidrios de colores distintos, uno sobre otro, se consigue un color de mezcla semejante al que se conseguiría con la mezcla sustractiva (es decir, con colores pigmento).



Pueden darse mezclas anómalas por reacciones químicas: algunos turquesa (con óxido de cobre) mezclados con amarillos de cadmio al fundirse juntos no dan verde sino marrón. Si ponemos uno junto a otro, surge una línea marrón en la zona donde ambos se tocan. Un color de mezcla de turquesa y amarillo podría lograrse intercalando entre ambos un vidrio transparente.

Mezcla de turquesa y amarillo: el resultante es un tono marrón.



III.2.2.5. El vidrio float. Características técnicas.

La mayoría del vidrio industrial moderno se consigue mediante un proceso de flotación (de ahí su nombre inglés, float glass) sobre estaño líquido.

Sin embargo, hay otro procedimiento industrial para fabricar vidrio plano por estiramiento, evitando así el contacto del vidrio con la superficie del estaño y la contaminación consiguiente. El método del estirado consiste en que la mezcla fundida fluya del tanque tirando de ella de manera que el grosor es determinado por la velocidad con la que se tira.

En las pruebas que se mencionarán a continuación se ha utilizado vidrio flotado. En una primera fase, se empleó el vidrio float de Cristalería Española (Grupo Saint-Gobain). Para la experimentación con fritas Bohle y algunos esmaltes, se usó vidrio float de esta empresa alemana.

En cuanto al primer tipo de vidrio float citado, El *Manual del vidrio*⁵⁴ define el vidrio “Planilux” como “una luna incolora, transparente, con sus dos caras completamente planas y paralelas que permiten ver a su través sin deformaciones de las imágenes. Se obtienen por el procedimiento de flotado y pulido térmico”.

Composición

Según el mencionado *Manual* del CITAV, el vidrio flotado de Cristalería Española contiene:

- Sílice (SiO_2) en un 70-73 %
- Sodio (Na_2O) y Potasio (K_2O) en un 13-15%
- Calcio (CaO) en un 8 a un 13%
- Óxidos para reforzar el vidrio frente a agentes atmosféricos (no indica cuáles)

Estos márgenes coinciden básicamente con las composiciones para el vidrio de ventana que ofrecen diversos autores de manuales más genéricos (IMBRIGHI, 1994; MARI, 1982; DUVAL, 1966, etc.)⁵⁵. Sin embargo, el hecho de no ofrecer una composición precisa y estable supone poca fiabilidad para el trabajo de horno que nos proponemos hacer. Pequeños cambios en la composición pueden suponer la variación en los puntos de viscosidad (lo cual dificultaría hacer un recocido correcto de la obra terminada) o del coeficiente de dilatación (que supondría que una hoja de vidrio sólo fuera compatible *consigo misma*, puesto que no podemos confiar en que otra hoja, de otra “hornada”, tenga la misma composición).

⁵⁴ CITAV (Centro de Información Técnica de Aplicaciones del Vidrio): *Manual del vidrio*. Madrid, 1993. El CITAV es un departamento científico asociado a Cristalería Española. Todo el contenido del manual hace referencia a los vidrios fabricados por Cristalería Española.

⁵⁵ IMBRIGHI, G. (1994): *Transparence: vetro e materiali sintetici*. Ed. La Nuova Italia Scientifica, Roma.

MARI, E. A. (1982): *Los vidrios. Propiedades, tecnologías de fabricación y aplicaciones*. Ed. Américalee, Buenos Aires.

DUVAL, C. (1966): *Le verre*. Presses Universitaires de France, Paris.

Otros datos técnicos del vidrio plano que vamos a utilizar.

En el trabajo con vidrio que nos proponemos necesitamos tener los siguientes datos:

- Coeficiente de dilatación lineal. De este modo podremos establecer las compatibilidades e incompatibilidades con otros vidrios, con los esmaltes, las fritas, etc.
- Puntos críticos de viscosidad, tales como el punto de transformación, de ablandamiento, punto de recocido e intervalo de recocido.⁵⁶
- Resistencia al choque térmico.
- Transmisión de la luz.

Para conseguir algunos de estos datos podemos hacer valoraciones empíricas (tal como se explicó en la página 150 y siguientes respecto a los puntos críticos de viscosidad). Pero otros tan importantes como el coeficiente de dilatación lineal no es fácil de establecer de este modo. Existen pruebas empíricas, como la señalada por MARI (1982)⁵⁷ que consiste en soldar dos varillas de distintos vidrios, y estirarlas luego utilizando un soplete hasta formar hilos constituidos por los dos tipos de vidrio. Si ambos tienen coeficientes de dilatación idénticos, los hilos creados siguen siendo rectos. Si, por el contrario, los coeficientes de dilatación son diferentes, los hilos creados se curvarán. La fibra de vidrio con mayor coeficiente queda del lado interno del arco. El radio de la curvatura da una idea de la diferencia en los valores de dilatación, sobre todo si se dispone de fibras patrones con coeficientes de dilatación conocidos.

Esta prueba presenta varios problemas⁵⁸, entre los cuales el más complejo es, precisamente, acceder a esa colección de fibras patrón con coeficientes conocidos. Otro de ellos es la habilidad necesaria para crear hilos rectos, pues de no hacerlos así, no sabríamos si la curvatura se debe a la diferencia de coeficientes de dilatación o a impericia.

Se recomienda testar las compatibilidades de los vidrios cuyos coeficientes de dilatación desconocemos fundiendo uno sobre otro, para después observarlos con la ayuda de un polariscopio que nos permitirá ver las tensiones presentes en el vidrio. Pero este método sólo funciona si el vidrio utilizado como base es transparente.

Para obtener datos respecto al coeficiente de dilatación de estos vidrios, he acudido a fuentes bibliográficas. El *Manual del vidrio* del CITAV ofrece un dato bastante vago y aproximado, general para todos los vidrios producidos por Cristalería Española. Así, indica que el coeficiente de dilatación del vidrio es de 9×10^{-6} (página 40). Pero no indica a cuál de los 19 tipos de vidrio que estudia se refiere este dato. Por tanto, no podemos fiarnos de él.

Otro autor, IMBRIGHI (1994) también ofrece este dato, señalando genéricamente para el vidrio float un coeficiente de dilatación de 0,000009. Como puede verse, ambas cifras coinciden.

⁵⁶ Para más información, ver capítulo correspondiente a cuestiones técnicas del vidrio en la fundamentación físico-química.

⁵⁷ MARI, E. A. (1982), págs. 62 y siguientes.

⁵⁸ MOORMAN, S. (1990).

DUVAL (1966) determina los siguientes coeficientes de dilatación térmica para distintos tipos de vidrio:

- | | |
|------------------------------|-----------------------|
| • Vidrio habitual de ventana | $89,6 \times 10^{-7}$ |
| • Vidrio Saint-Gobain | 89×10^{-7} |
| • Pyrex | 32×10^{-7} |

La variación en este dato es muy pequeña entre el CITAV, IMBRIGHI y DUVAL: desde 89 a 90×10^{-7} . Esto podría hacernos sentir optimistas y considerar que 90 es el coeficiente de dilatación del vidrio que vamos a usar.

Sin embargo, PFAENDER (1996)⁵⁹ nos dice en su obra que el “vidrio plano normal” tiene un coeficiente de expansión térmica que varía de 85 a 95×10^{-7} . Este rango es tan amplio que no permite aventurarse, ya que con sólo 3×10^{-7} se produce una incompatibilidad que causa la rotura de la obra, sobre todo si ésta excede de determinadas dimensiones.

Por otra parte, el vidrio float producido por Bohle tiene un COE supuestamente estable de 82×10^{-7} . Esto es un ejemplo de que cada fabricante ofrece características diferentes.

El resultado de esta primera aproximación al coeficiente de dilatación del vidrio que vamos a usar es algo desalentador. Debemos testar cada una de las hojas de vidrio diferentes (por ejemplo, para saber si el vidrio de 3mm de grosor es compatible con el de 6 mm, aunque ambos sean de Cristalería Española), y no podemos confiar en que sean compatibles con las fritas supuestamente especiales para trabajar con vidrio float.

Colores de vidrio float.

Como ya he mencionado, el vidrio float de Cristalería Española de tipo “Planilux”⁶⁰, está disponible en tres colores: blanco (transparente), gris, y rosado. He podido trabajar con dos de ellos: transparente y gris. Tras realizar las pruebas de compatibilidad, comprobé que no se presentaban tensiones entre estos colores, luego pueden fundirse juntos.

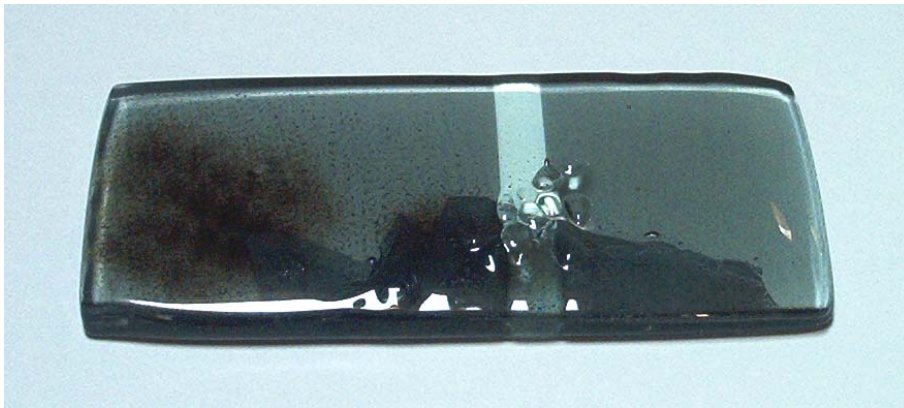
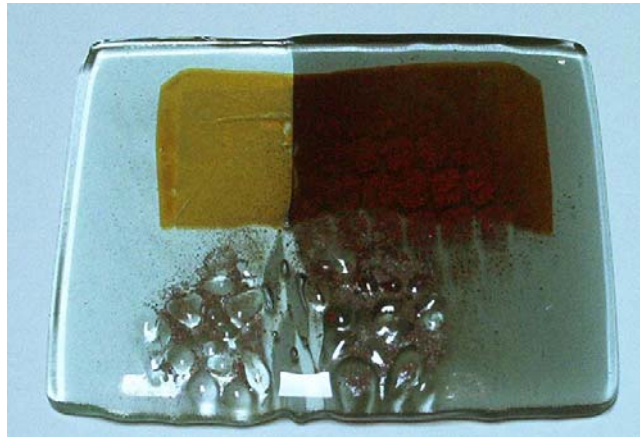
(Derecha) Una prueba de compatibilidad entre el vidrio float transparente y el vidrio float color gris, ambos de Cristalería Española, vista a través del polariscopio, no presenta tensiones, demostrando que estos dos vidrios son compatibles.



⁵⁹ PFAENDER, H. (1996): *Shott Guide to Glass*. Chapman and Hall, Londres.

⁶⁰ Las características técnicas de este vidrio han sido descritas en el capítulo *Búsqueda de una paleta de colores*.

Aunque esta paleta es limitada, ofrece muchas posibilidades cuando se utiliza en combinación con otras técnicas de fusión, como el trabajo con esmaltes, las inclusiones o las termofusiones.



Dos piezas creadas utilizando vidrio float gris y blanco de Cristalería Española, en combinación con otras técnicas, como mosaico, esmaltes, inclusiones y texturas con vidrio molido

El vidrio float para ventana tiene una desventaja: aunque el tono que llamamos “transparente” parece no tener color, es en realidad verde. Este tono se aprecia más y más a medida que las láminas de vidrio se van poniendo unas sobre otras. A partir de 9mm de espesor, el tono verde es totalmente visible.

La empresa alemana Schott Desag AG fabrica entre uno de sus muchos productos un vidrio para fusing de color, el *Artista*⁶¹, que se trata de un vidrio flotado. Los colores son transparentes e intensos, y está pensado para trabajar grandes superficies, ya que la hoja tiene una medida muy grande: 160 x 75 cm.

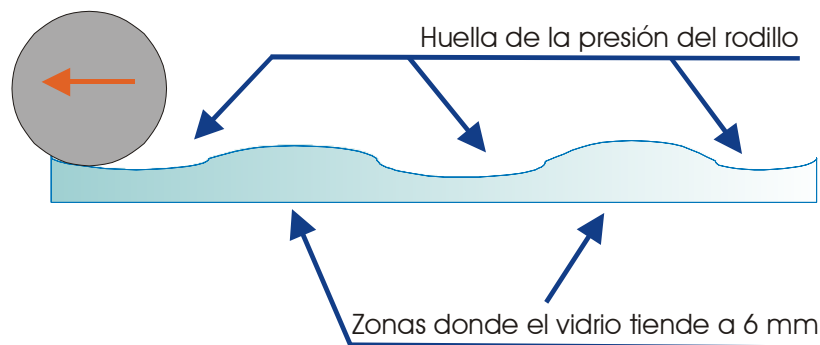
⁶¹ Datos obtenidos del Catálogo de Fusing BOHLE-MAQUIMETAL, 2001.

III.2.2.6. Vidrios compatibles especiales para fusión y termoformado.

Bullseye.

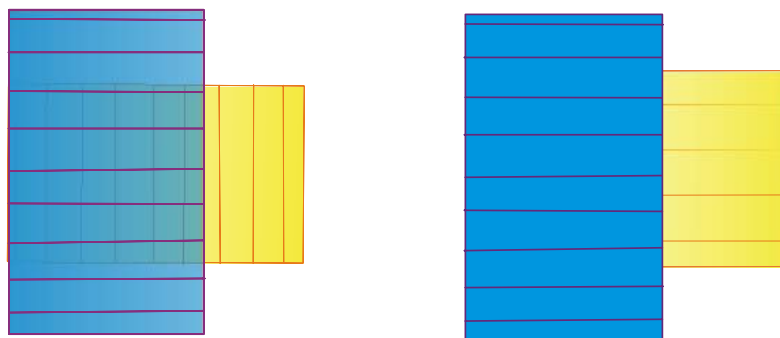
Se trata de un vidrio fabricado en Portland, Oregón, EEUU. Es el primer vidrio fabricado especialmente para ser utilizado en el horno con técnicas de fusión y termoformado.

El proceso de fabricación es artesanal. Después de fundir el vidrio en un crisol, se vierte sobre una superficie plana de metal caliente, y se extiende con ayuda de un rodillo también de metal⁶². Por esta razón, los bordes de las hojas de vidrio bullseye no son rectos y cortantes, sino irregulares y redondeados. Su superficie no es perfectamente lisa como sucede con los vidrios flotados, sino que mantiene la textura líquida adquirida al ser vertido y extendido. Esta rugosidad se debe a que, durante la fabricación, el vidrio está muy caliente y “busca” los 6 mm a los que se tiende por tensión superficial.



Si se pasa dos veces por el rodillo, tiene una textura más fina que no es ondulada. Bullseye suministra vidrios de un rodillo y de dos rodillos, porque pueden utilizarse de diferente modo para lograr efectos.

Las ondas cruzadas dan una sucesión ordenada de pequeñas bolitas de aire. Las ondas en la misma dirección producen burbujas más grandes y desordenadas.



Bullseye ofrece las hojas de vidrio en tres grosores: 1,6 mm, 3 mm (el estándar) y 6 mm (sólo algunos colores). Hay una amplia gama de transparentes, además de opalescentes y jaspeados. También existe una serie de opacos iridiscentes y transparentes iridiscentes en grosores de 1,6 y 3 mm.

La compatibilidad testada de los productos Bullseye es una ventaja a la que se añade la amplia gama de colores y tipos de vidrio: transparentes, irisados, opales, jaspeados, incluso vidrios con confetti⁶³ y varillas fundidas, todos ellos con un coeficiente de dilatación de 90×10^{-7} ⁶⁴.



Muestrario de algunos de los vidrios fabricados por Bullseye. Las dos filas de arriba son vidrios transparentes; la de abajo, vidrios jaspeados.

Junto con estos productos básicos, Bullseye fabrica otros compatibles con ellos. Los más destacables son:

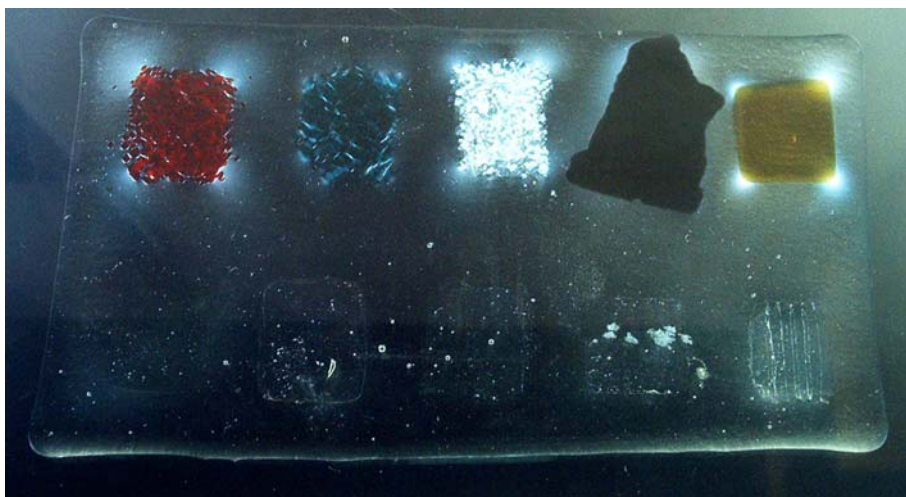
- Las fritas, que tienen los mismos colores que el vidrio laminado y se fabrican en seis grosores distintos, desde polvo (0,2 mm) hasta grano muy grueso (entre 2,7 y 5,2 mm).
- Los hilos de vidrio o *stringers*, estirados manualmente, cuyo diámetro oscila entre 0,7 y 1,2 mm. Se les puede dar forma con un mechero o la llama de una vela.
- Confetti, laminillas de vidrio muy finas, de medidas y formas irregulares.

⁶² Este procedimiento, llamado de *colado discontinuo*, fue implantado por la Manufactura Real de Saint Gobain en 1693; las láminas requerían un posterior desbaste y pulido por ambas caras. Véase FERNÁNDEZ NAVARRO (1991), p. 228.

⁶³ Vidrio muy fino (menos de 1 mm) que se vende en forma de escamas.

⁶⁴ Lo que nos hace preguntarnos cuál es en realidad el coeficiente de dilatación de los vidrios float de Cristalería Española, que no son compatibles con el Bullseye a pesar de tener teóricamente un coeficiente de dilatación de 90×10^{-7} .

- Varillas de vidrio compatibles, de unos 5 mm de grosor. Pueden usarse en las técnicas de fusión y termoformado, o en otras, como las de candilón (creación de murrinas, cuentas de vidrio, etc.)
- Restos de vidrio Bullseye (*patties*) que se utilizan en las técnicas de casting y pasta de vidrio, en colores transparentes.



Dos series de pruebas realizadas para testar la compatibilidad del vidrio Bullseye. Se ha utilizado Bullseye transparente incoloro ("blanco") como base. En la fotografía de arriba, son todos vidrios Bullseye; sin embargo se observan pequeñas incompatibilidades en los vidrios de abajo, a la derecha, y una gran incompatibilidad abajo a la izquierda (de hecho se ha roto el vidrio). Posiblemente el fragmento de vidrio turquesa que compré como Bullseye estaba mal etiquetado y no era vidrio para fusión. La fotografía de abajo muestra incompatibilidades con vidrios diferentes al Bullseye (fila de arriba: fritas Bohle y vidrio de botella) y vidrios Bullseye compatibles (abajo).

Spectrum System 96

La fábrica Spectrum está especializada en la fabricación de vidrio artístico. Comenzó centrándose en la producción de vidrios para vidrieras, aplicando a los métodos tradicionales la tecnología moderna.

Muchos artistas utilizaban desde hace años los vidrios Spectrum para las técnicas de fusión. Sin embargo, el uso de estos vidrios requería realizar siempre tests de compatibilidad y tests de modificaciones de color en el horno⁶⁵.

A mediados de los años 90, Spectrum lanzó al mercado un vidrio testado compatible cuyo coeficiente de dilatación térmica es de 96. Otras empresas vidrieras se adhirieron al “System 96”, como Uroboros. Este vidrio está desarrollado especialmente para el trabajo de fusión, y se comprueba en fábrica su compatibilidad. La gama de tonos varía desde los transparentes o catedral a los opales, sumando una treintena de colores. Sin embargo, la fábrica Spectrum⁶⁶ informa de que se intenta que todos sus vidrios, incluso los que se emplean para vidrieras, tengan el mismo coeficiente de dilatación, por lo que anima a los artistas a testarlos y a utilizarlos junto con los de System 96.

La gama puede completarse con los productos ofrecidos por Uroboros: vidrios iridiscentes y dicroicos, fritas de varios tonos y grano, e hilos de vidrio.

Wasserglass

Esta empresa ofrece unos 40 colores diferentes de opales, muchos de ellos con dibujos. Las hojas son muy finas (1,8 mm). El vidrio Wasser tiene un coeficiente de dilatación de 90, por lo que sus vidrios son compatibles con los de otras empresas que tengan el mismo coeficiente, como Bullseye.

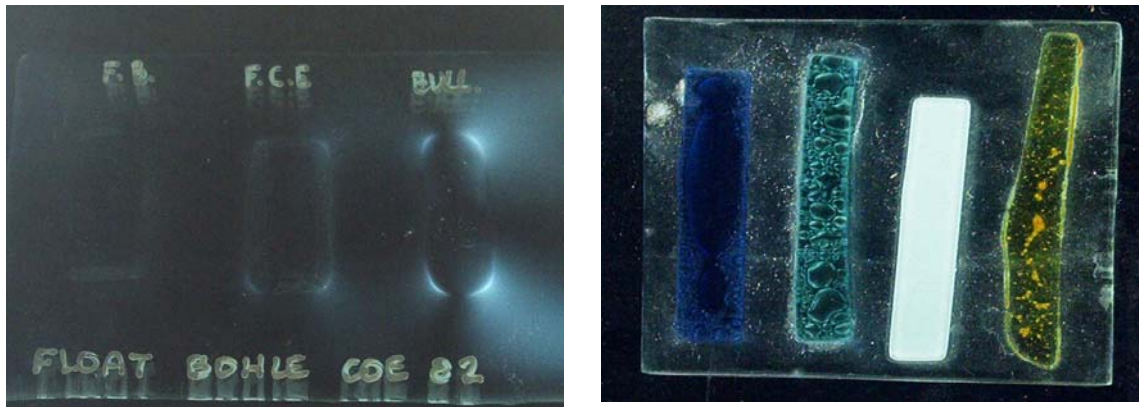
III.2.2.7. Los vidrios esmaltados.

Aunque son de calidad inferior a los vidrios coloreados compatibles, los vidrios esmaltados presentan la ventaja de su relativamente bajo precio.

Los que yo he utilizado para las pruebas realizadas han sido los vidrios de la gama *Fussycolor* fabricados por Maquimetal. Son vidrios flotados, con un grosor de 2 mm. Se complementan con un vidrio de base de 4 mm, transparente y también flotado. No tienen la misma composición que el vidrio float de Cristalería Española. En los tests de compatibilidad realizados, se presentaron tensiones al observarlos a través del polariscopio.

⁶⁵ MOORMAN, S. (1990), indica que “en abril de 1987, Spectrum cambió sus fórmulas para hacer sus vidrios compatibles en un 85-90%. (...) Es un buen vidrio para fusión, cuando uno se queda dentro de la familia Spectrum, pero se recomienda testar siempre.” (p. 7).

⁶⁶ Documento informativo de la página web de Spectrum Glass.



Vista a través del polariscopio de dos tests de compatibilidad entre vidrios. En el de la izquierda, el vidrio de base es el fabricado para Maquimetal; los tres fundidos encima son, de izquierda a derecha, de Maquimetal (el mismo de base), el de Cristalería Española, y el Bullseye. Los destellos de luz que irradian estos dos últimos muestran su incompatibilidad. A la derecha, el vidrio de fondo es el float de Maquimetal, y los de encima son los vidrios lacados suministrados por esta empresa. No se ven halos blanquecinos alrededor de los fragmentos de color, demostrando que son compatibles.

Existe una razón concreta para fabricar estos productos en los grosores mencionados. El uso que se puede dar a estos vidrios es casi únicamente poner el vidrio transparente (4 mm) como base y los vidrios lacados (2 mm) arriba. En total, suman 6 mm, que es el grosor al que tiende el vidrio cuando alcanza el estado líquido debido a la tensión superficial. Cuando una lámina de vidrio es más delgada de 6 mm tiende a encogerse durante su estado líquido, deformándose, mientras que si es más gruesa, también se alterará su forma, pero a causa de la dilatación. De este modo, el producto se ha preparado para crear obras planas de mosaico que, con un grosor de 6 mm, sufran la menor deformación posible.



Catálogo de colores Fussycolor de la empresa Maquimetal.

Los vidrios esmaltados se pueden fabricar en el propio taller⁶⁷, aplicando un esmalte molido muy fino, compatible, sobre vidrio float y horneándolo después. Así puede obtenerse una gama de vidrios coloreados según los propios intereses. Esta técnica aumenta sus posibilidades si se aplican los esmaltes en vidrios de color que sean compatibles, y crear sobre ellos matices, grafismos, degradados...

El problema para hacer los vidrios esmaltados uno mismo es que hace falta mucha práctica para saber qué cantidad de esmalte conviene, y cómo ponerla (en los vidrios lacados industriales el color se pone por medio de la serigrafía).

Cortar los vidrios esmaltados

Pueden cortarse por el lado esmaltado o por el lado de vidrio. Sin embargo, el lado esmaltado es más rugoso. Por otra parte, si cortamos por el lado lacado, parte del lubricante de la rulina impregnará el esmalte, mientras que por el lado que sólo tiene vidrio, el aceite se limpia fácilmente.

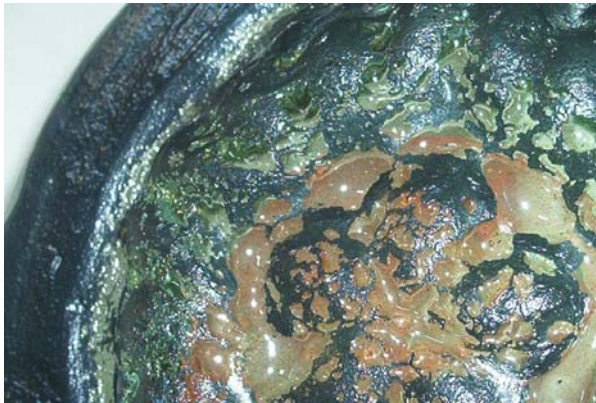
La principal dificultad para cortar el vidrio esmaltado es su excesiva fragilidad debido al poco grosor. Cualquier presión excesiva hace que el corte se realice fuera de su sitio. También la fragilidad supone un problema para el transporte y almacenamiento de este tipo de material.

Problemas en el trabajo en caliente con vidrios esmaltados

Algunos de los esmaltes utilizados en esta gama de productos burbujan cuando no están en la superficie del vidrio. Si se ponen bajo una lámina de vidrio transparente, en vez de hacerlo sobre él, o si por error se colocan con la cara esmaltada hacia abajo, se crean enormes burbujas durante la cocción. Estas burbujas se deben a los gases desprendidos por los esmaltes al cocerse, pero he comprobado que incluso después de una primera cocción siguen apareciendo burbujas.

Hay que tener cuidado también cuando queremos termoformar una obra de estos vidrios esmaltados, porque no se puede poner el esmalte tocando el separador. No sólo hace burbujas, sino que reacciona químicamente con aquel, y se quedan pegados con resultados desastrosos.

⁶⁷ MIRIAM DI FIORE, curso *Fusing y termoformado*, mayo de 1997, Fundación CNV de La Granja de San Ildefonso.



A la izquierda puede verse una obra realizada con vidrio lacado, que ha sido termoformada sobre la cara esmaltada. El vidrio burbujeó y se quedó pegado al molde; al desprenderlos, las burbujas se rompieron y dejaron una superficie cortante llena de cráteres, como se muestra en la fotografía de la derecha, detalle de la anterior.

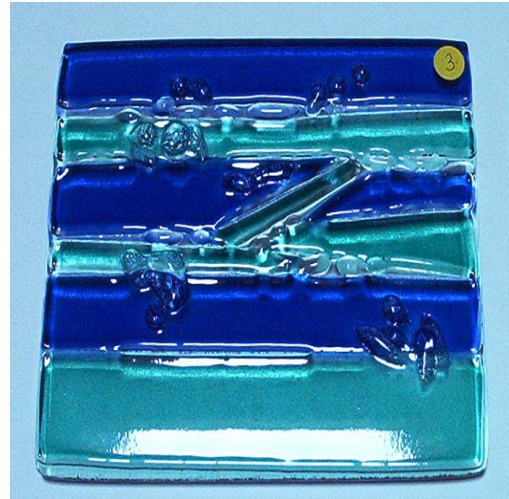
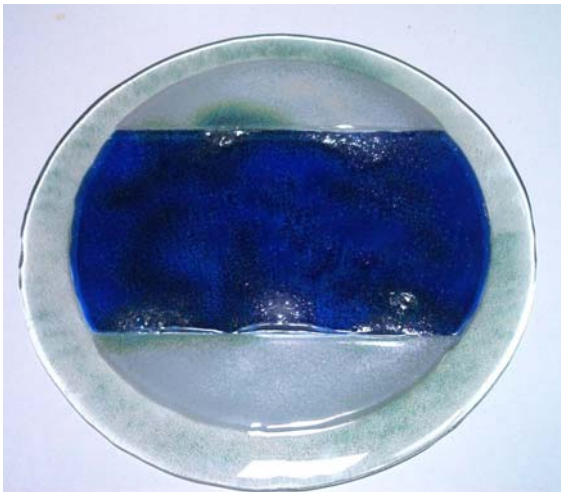
Cuando se mezclan esmaltes y fritas con los vidrios lacados, se debe poner poca cantidad de estas materias sobre el vidrio, porque generalmente se cuecen antes que los vidrios que les sirven de base. Al ser tan fino el vidrio lacado, los esmaltes o fritas depositados sobre éste tiran de él cuando están en ebullición, produciendo efectos inesperados.



Otro problema es el causado por los errores en la elección de color. Los vidrios Fussycolor se venden sin cocer los esmaltes; algunos, como los amarillos, blancos o verdes se distinguen bien unos de otros, pero los azules y negros parecen idénticos antes de ser horneados, lo que puede causar confusiones. Los colores parecidos conviene almacenarlos aparte.

Distintas posibilidades de trabajo con el vidrio lacado.

Las principales son dos: mosaico y alteraciones de la superficie por fritas, esmaltes y arenas.



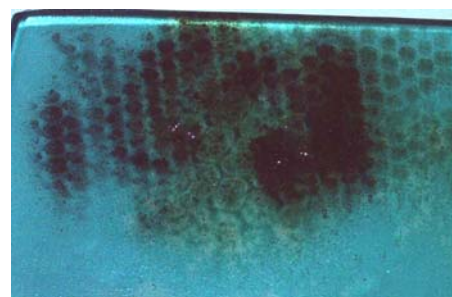
Dos piezas creadas combinando las técnicas de mosaico y esmaltes.

Al trabajar con vidrio lacado hay que tener en cuenta que si se quiere un grosor mayor de 6 mm hay que lograrlo añadiendo láminas de vidrio debajo de las de esmaltado. Entre ellas pueden ponerse esmaltes e inclusiones que se mezclarán visualmente con las capas de color de la superficie.

Una de las técnicas de trabajo que está vedada con el vidrio esmaltado es la superposición de varias capas de color transparente, que crean efectos de mayor o menor intensidad de color. En el vidrio lacado el resultado es una superposición de burbujas incontroladas.

Sin embargo, la superficie del esmalte puede aprovecharse, por ejemplo para que se adhieran elementos que proporcionen textura a la obra, como por ejemplo arena de sílice o de rutilo.

Sobre el esmalte lacado verde azulado se han espolvoreado arena de rutilo y otros esmaltes; al cocer la pieza se adhieren y mezclan al esmalte del vidrio.

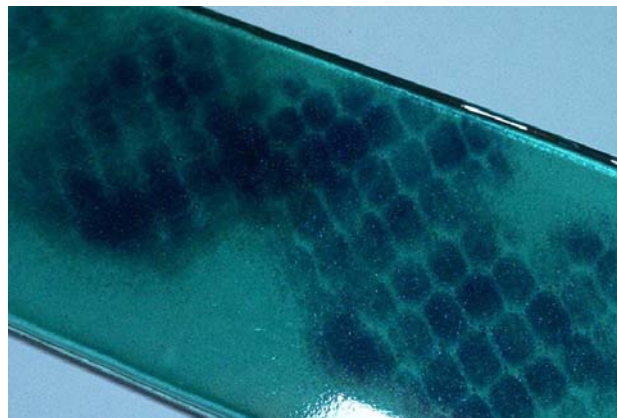


Cuando se ponen sobre la capa esmaltada trozos gruesos de vidrio transparente se crea un efecto de gota de agua, es decir, aparece una zona más clara, generalmente delimitada por una línea donde el esmalte es más concentrado.

Detalle de una pieza con la superficie de lacado negro, sobre la que se han puesto varios fragmentos de vidrio grueso transparente.



También interactúa de manera interesante con la superficie esmaltada el uso de micas mezcladas con algún vidrio molido.



III.2.2.8. Vidrio coloreado procedente del reciclado: los cascos de color.

El vidrio de color testado compatible es un buen material para las técnicas de fusión, pero tiene el inconveniente del precio (es bastante caro) y de la dificultad, cada vez menor, para encontrar en España empresas que lo suministren.

Por eso puede recurrirse a un vidrio de inferior calidad, pero mucho más accesible: el vidrio procedente de casco de botella. Este material tiene, sin embargo, varios inconvenientes:

- No sabemos exactamente cuál es su coeficiente de dilatación y, por tanto, si será compatible con otros vidrios de casco o con el vidrio float.
- Su forma cilíndrica no es la más adecuada para trabajar con técnicas de fusión, por lo que se hace necesario un proceso de cortado y aplanado que complica y encarece el trabajo con este material.

- La paleta de color se limita generalmente a los tonos verdes, ámbar, pardos y azules⁶⁸.

Características del vidrio procedente de casco.



Casi todos los manuales sobre vidrio incluyen alguna tabla en la que muestran las características físico-químicas de diferentes tipos de vidrio. En estas tablas suele distinguirse entre el vidrio fabricado según un proceso de flotación (vidrio float) y el vidrio para envases. Éstos suelen ser vidrios sodocálcicos con un coeficiente⁶⁹ de dilatación entre 82 y 91×10^{-7} .

Preparación del casco para su utilización con las técnicas de fusión.

La forma más directa de disponer de vidrio procedente de casco de color, consiste en romper un envase dentro de un periódico doblado, golpeándolo con una maza de madera. Hay que tener cuidado para no herirse con las esquirlas que puedan salir disparadas por los extremos del periódico, o doblar y pegar con cinta adhesiva los extremos abiertos de éste.

Este método rápido, sin embargo, no es útil cuando queramos disponer de láminas de vidrio que puedan cortarse con formas y tamaños determinados para formar parte, por ejemplo, de una composición o mosaico. En ese caso debemos conseguir vidrio plano.

Para comenzar, las botellas, tarros y demás envases deben estar bien limpios y sin etiquetas. Para ello, se sumergen en agua muy caliente. El papel suele desprenderse y se frota con un paño para eliminar restos de cola. Ciertas etiquetas son más difíciles de desprender y es necesario utilizar un rascavidrios para quitarlas, e incluso algún disolvente con acetona para eliminar rastros de pegamento.

⁶⁸ LUNDSTROM, B. y SCHWOERER, D. (1983), p. 70.

⁶⁹ DUVAL, C. (1966), p. 26, MARI, E. A. (1982), p. 62, LUNDSTROM, B. y SCHWOERER, D. (1983), p. 44, MOORMAN, S. (1990), p. 16.



Estas dos botellas se introdujeron en el horno tras eliminar el culo y hacer un solo corte en un lateral, que no se abrió en frío, sino dentro del horno por el calor. Las formas que adopta la botella al fundirse son caprichosas y poco predecibles.

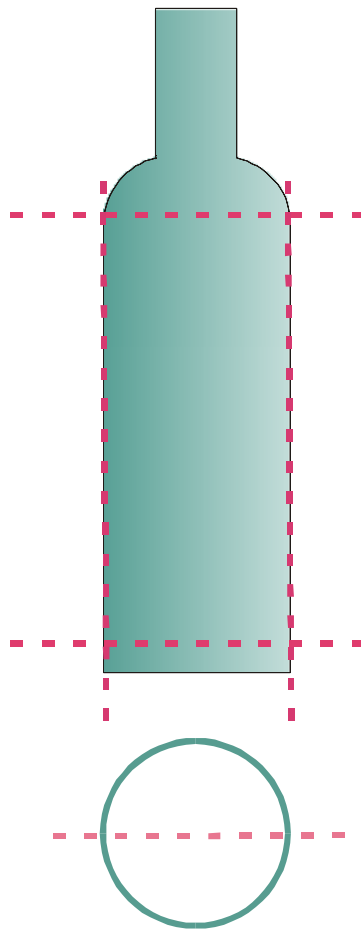


Las botellas pueden ponerse enteras en el horno, tumbadas, y fundirlas, pero este procedimiento presenta dos problemas: el primero de ellos, que las botellas tienden a rodar dentro del horno, y el segundo, que se forma un vidrio doble cuyas láminas no siempre están bien pegadas entre sí, y en el cuyo interior puede haber burbujas de aire.

Es mejor utilizar algún método que permita obtener a partir de botellas y frascos láminas planas y simples de vidrio.

El primer paso para lograr aplanar el casco es cortarlo. Cuando se realiza a mano no es un trabajo fácil, pues hay que utilizar el cortavidrios sobre una superficie curva (se requiere tener bastante pulso, y lubricar muy bien la rulina) y abrir el corte golpeando desde dentro el vidrio con la ayuda de algún instrumento delgado pero consistente, que pueda introducirse dentro del envase.

Las partes que utilizaremos serán los dos semicilindros procedentes del cuerpo de la botella. El cuello y el culo de la botella pueden triturarse con ayuda de un martillo, y se utilizarán como fritas coloreadas. También pueden emplearse para crear burbujas controladas, gracias a su forma cóncava.



Esquema del corte de una botella.

Se comienza por cortar las dos líneas horizontales, como se muestra en la vista lateral; cuando se ha separado la botella en tres trozos (cuello, cuerpo y culo) se utiliza en cilindro central o cuerpo, en el que se hacen dos cortes longitudinales, opuestos entre sí, que lo dividan en dos partes, como se muestra en el dibujo de abajo, que corresponde a una vista superior.

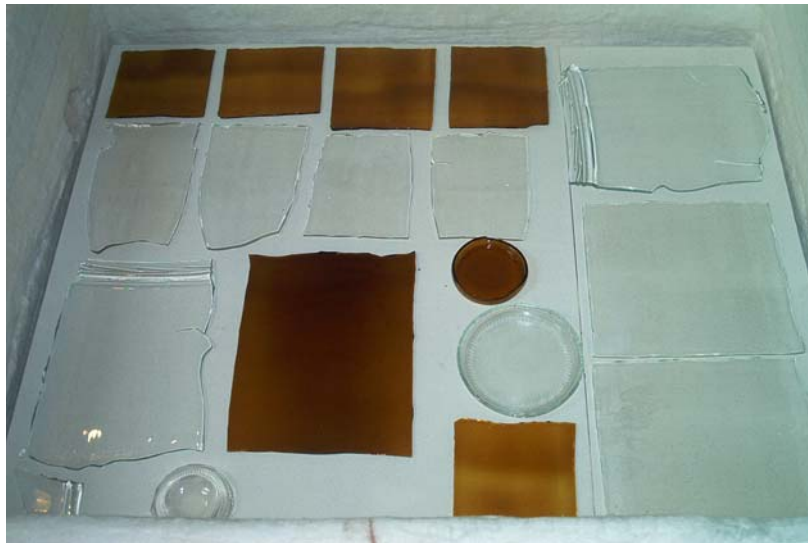
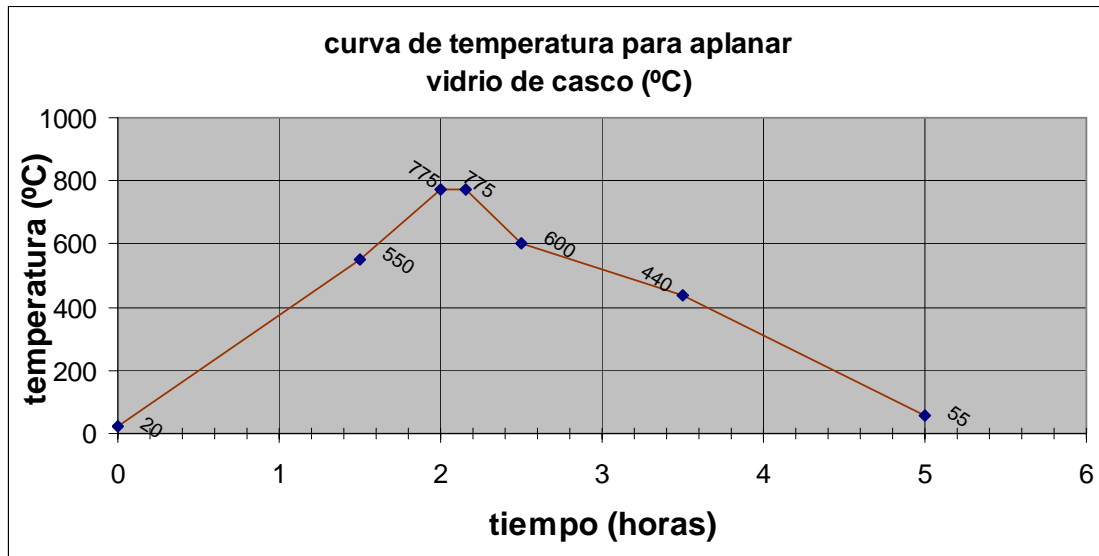
Una vez cortados los semicilindros, es necesario volver a limpiar cualquier rastro de grasa de la rulina o huellas dactilares. Posteriormente se introducen en el horno para su aplanamiento por medio del calor.

Cargar en el horno estos vidrios curvados requiere ciertas precauciones, pues habrá que dejar entre ellos la distancia suficiente para que, una vez estirados, no se rocen unos a otros (quedarían pegados).



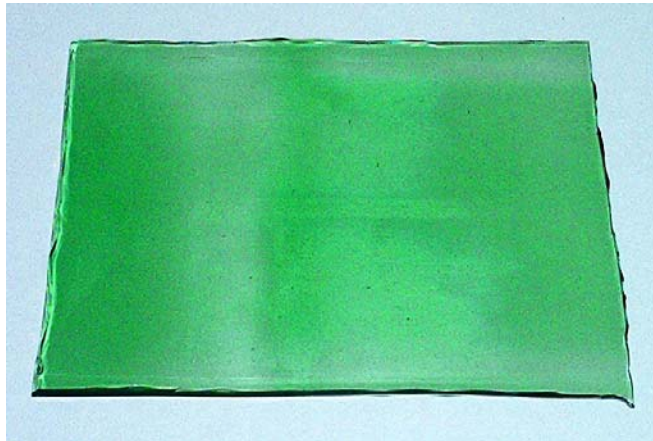
Horno cargado con casco, preparado para estirarse por medio del calor. Cada pieza se ha separado de las otras lo bastante como para que no se peguen cuando se estiren por causa del termoformado.

La curva de temperatura que se requiere para aplanar este vidrio es muy simple. No es necesario elevar mucho la temperatura (el grosor del vidrio oscila entre 2 y 4 mm) ni hacer un recocido largo. En mis pruebas yo he utilizado la siguiente curva:



En esta imagen vemos las mismas piezas de casco que se cargaron en el horno en la fotografía anterior, una vez estiradas por medio del calor.

Una de las características de este vidrio, una vez estirado, es que su grosor no es uniforme. Por esta razón el color parece formar aguas con tonos más claros y más oscuros.

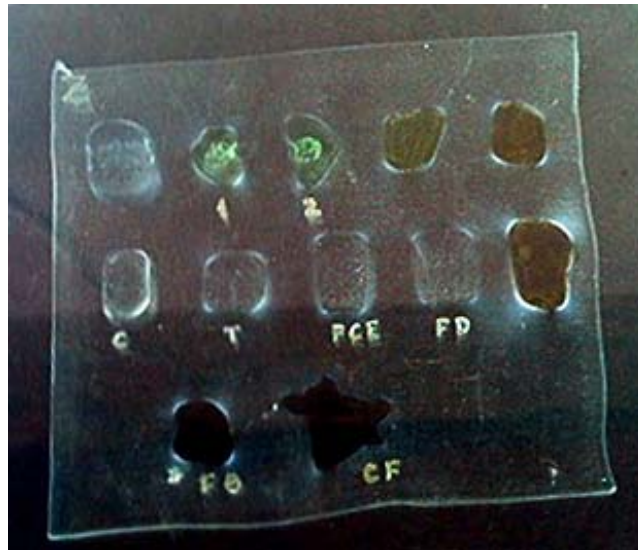
**Tests de compatibilidad del vidrio coloreado procedente de casco.**

A modo de ejemplo, incluiré las conclusiones a las que he llegado con algunos vidrios procedentes de casco con los que he trabajado.

En la comprobación de la compatibilidad de los distintos vidrios de casco entre sí, partí del coeficiente de dilatación teórico (es decir, el leído en la bibliografía), aproximadamente 85. También por la bibliografía se asignó al vidrio float un coeficiente de dilatación de 90. De cumplirse estos niveles en la realidad, esto implicaría que ambos tipos de vidrio no son compatibles.

Sabemos que pequeñas variaciones en la composición del vidrio, tales como la introducción de óxidos metálicos y otras materias colorantes, bastan para que éste modifique bastante su coeficiente de dilatación. Por esa razón, podemos partir de la idea de que posiblemente los distintos colores no sean compatibles entre sí.

Los tests de compatibilidad con casco se han realizado con ayuda de un polariscopio. Se ha utilizado un vidrio transparente abajo, sobre el que se han colocado distintos fragmentos de vidrio de color. De este modo, una vez cocidos hasta la temperatura de fusión total (840°C), pueden mirarse a través del polariscopio para comprobar si existen tensiones entre el vidrio de base (transparente) y los vidrios de color puestos sobre éste. A través de la mayoría de los vidrios de color no pueden observarse las tensiones con el polariscopio; por eso se utilizan vidrios transparentes como base.



Dos fotografías de las muestras de compatibilidad realizadas con casco, colocadas entre los filtros polarizantes del polariscopio. Las zonas blancas señalan incompatibilidades.

En este caso, se han utilizado como vidrios de base el vidrio float de Cristalería Española y el vidrio transparente de casco (botes grandes de conserva de una misma marca).

Los resultados han sido sorprendentes, pues algunos de los vidrios verdes (botellas de vino) y todos los vidrios ámbar (botellas de cerveza de la misma marca, grandes y pequeñas) se han mostrado compatibles con el vidrio float, pero no con el vidrio transparente de casco.

Compatibilidad completa:

Grupo 1: supuesto coeficiente de dilatación 90

Float Cristalería Española	Verde claro botella	Verde oscuro botella	Transparente tónica	Ámbar cerveza
----------------------------------	------------------------	-------------------------	------------------------	------------------

Grupo 2: supuesto coeficiente de dilatación >90

Conserva	Azul claro	Zumo
----------	------------	------

Ligera incompatibilidad:

Grupo 1	Verde azulado botella
---------	--------------------------

Incompatibilidad media:

Grupo 1	Pardo oscuro botella
---------	-------------------------

Total incompatibilidad:

Grupo 1	Grupo 2
---------	---------

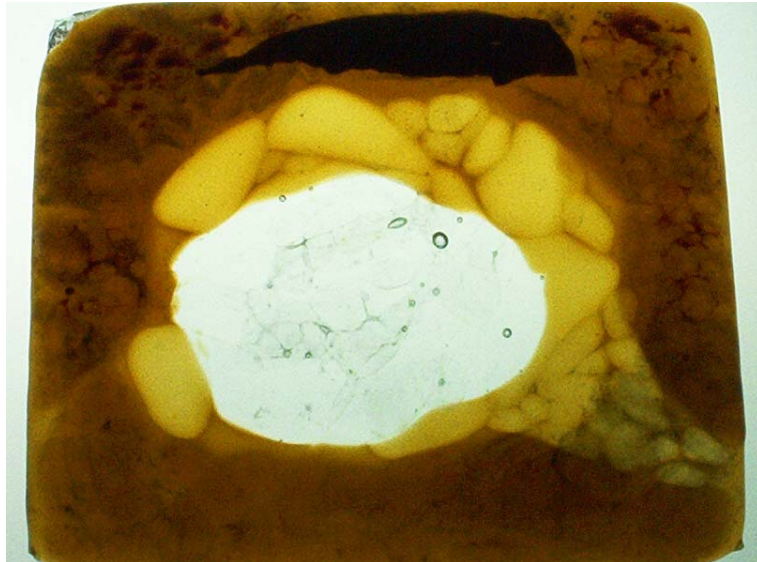
Total incompatibilidad:

Grupo 2	Pardo oscuro botella
---------	-------------------------

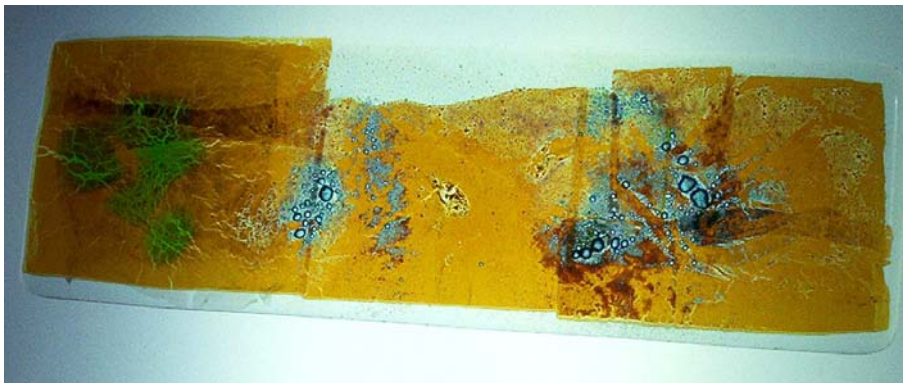
Técnicas de trabajo con vidrio coloreado procedente de casco.

El vidrio coloreado de casco con el que he trabajado es un vidrio duro. Para termoformarlo es necesario subir hasta 775°C, incluso cuando las láminas son de 3-4 mm, y para llegar a fusión total es preciso alcanzar una temperatura de 840°.

Se utilizan los mismos procedimientos que cuando se trabaja con cualquier otro vidrio coloreado, pudiendo llegar a fusión en relieve o a fusión total. La única dificultad es que, como ya se dijo, el grosor del vidrio no es uniforme y presenta una superficie suavemente ondulada que, bajo otras capas de vidrio, puede causar burbujas, a no ser que se realice una subida lenta de la temperatura entre los 750° y los 840°C.



Obra realizada utilizando una combinación de vidrio float y de casco de botella de cerveza. Los tonos más claros se consiguen superponiendo vidrio transparente al de color; los más oscuros, con varias capas de vidrio ámbar superpuestas. En el centro se ha utilizado vidrio float grueso en fragmentos para crear velos de burbujas.



En esta obra se han utilizado láminas de vidrio float con inclusiones de pan de oro y plata, y fritas y trozos de vidrios de color procedentes de casco.

Otro uso que puede darse al vidrio de casco es preparar fritas y vidrio molido de color, compatible con el vidrio float. Para ello basta con triturar en el interior de un periódico los envases enteros o los trozos botella que no se sirven para estirarlos. Posteriormente se lavan vertiéndolos en un barreño con agua (los fragmentos de papel flotan y pueden retirarse) y se secan al aire sobre un paño.

Los mismos fragmentos de botella sin estirar servirán para crear formas y burbujas controladas cuando se llega a la temperatura de fusión en relieve, como se indica en el capítulo dedicado a las inclusiones.

El vidrio procedente de casco, una vez probada su compatibilidad, es útil también en las técnicas de casting y pasta de vidrio.

Conclusiones respecto al uso de casco en las técnicas de fusión.

Aunque es un material muy atrayente, el casco presenta muchas desventajas. Hay que emplear bastante tiempo para prepararlo adecuadamente y las hornadas necesarias para aplanarlo suponen también dinero. Por otra parte, no pueden conseguirse grandes superficies, sino pequeñas láminas de un tamaño máximo de 20 cm de lado. A esto se suma el problema de la compatibilidad; no basta con probar una vez que, por ejemplo, el vidrio verde de botella es compatible: cada vez que se utiliza una nueva botella hay que comprobarlo de nuevo porque, por muy parecido que sea el color al de otra botella ya testada, puede ser de otro fabricante, o puede haberse modificado su composición, alterando el coeficiente de dilatación.

Estas razones se deben sopesar cuando se elija trabajar con un vidrio de casco o con vidrio coloreado.

III.2.3. BÚSQUEDA DE UNA PALETA DE COLORES.

Experimentación con fritas para vidrio. Adaptación de esmaltes para cobre, para vidrio, y colores cerámicos.

En el trabajo con vidrio una posibilidad interesante es el uso de colores, que interactúan con la transparencia propia de esta materia para crear diferentes efectos plásticos. Si bien puede pintarse sobre vidrio con pinturas hechas para otras superficies, como las pinturas al óleo, las acrílicas, las de coches... las calidades no son las mismas que las de los colores cocidos junto con el vidrio.

La coloración en caliente se hace con materias que pueden teñir toda la masa, una parte, o sólo porciones de superficie. Abordaremos en este capítulo las dificultades técnicas de añadir color al trabajo con vidrio plano mediante las técnicas de fusión. En este caso, utilizando un horno cerámico, se emplean sobre todo colores que podemos llamar de superficie, puesto que no colorean toda la masa de vidrio. Para ello existen diversos procedimientos.

Algunas fábricas de productos especiales para *fusing*, como Bullseye, Spectrum o Uroboros, facilitan fritas y esmaltes cuya compatibilidad con sus vidrios respectivos ha sido testada⁶⁹. Son materiales de alta calidad pero, al ser importados, su coste es muy grande, por lo que es positivo explorar otras posibilidades.

También se puede trabajar con vidrio "*pobre*", *float* o *de ventana*. Este vidrio es mucho más asequible que los mencionados anteriormente, aunque su calidad es menor. El reto que se plantea es la escasez de productos fabricados expresamente para colorear este tipo de vidrio. En España apenas hay productos de estas características, aunque varias empresas americanas los fabrican, como por ejemplo, Thompson. Una empresa alemana, Bohle, produce unas fritas de granulometría y colores variados que dice ser compatibles con el vidrio float producido por ella, cuestión que será necesario testar. También están disponibles diversas clases de esmaltes de bajo punto de fusión para la decoración de vidrio, pero hay que investigar cómo se comportan a mayores temperaturas. Para disponer de una paleta más amplia, cabe la posibilidad de adaptar vidriados cerámicos, esmaltes cerámicos para tercer fuego, y esmaltes para cobre, de manera que tanto el punto de fusión como el coeficiente de dilatación sean compatibles con el vidrio *float*. Ciertos óxidos, como el de cobre negro, el de manganeso o el de cobalto pueden usarse también para colorear el vidrio.

⁶⁹ A pesar de lo cual todos los artistas de esta técnica testan ellos mismos estos productos, para evitar incompatibilidades debidas a ligeros cambios en la composición de los vidrios, fritas y esmaltes.

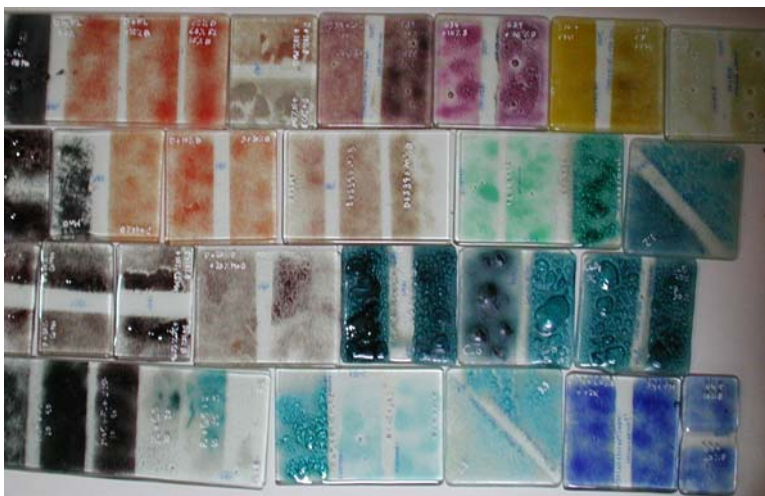
III.2.3.1. Objetivo de las pruebas

La finalidad de estas pruebas es crear una paleta de colores básica, pero lo suficientemente amplia como para permitir libertad creativa en las esculturas realizadas con esta técnica. Como ya hemos adelantado, el principal reto de esta parte de la investigación consiste en probar y, en su caso, adaptar diversos materiales disponibles en el mercado español para poder usarlos coloreando en superficie vidrio plano de tipo *float*. Respecto a este asunto, he encontrado muy poca bibliografía que trate este tema en profundidad. Varios textos mencionan esta posibilidad, pero ninguno la describe detalladamente. Concretamente se utilizarán:

- Diferentes fritas de la casa Bohle, supuestamente compatibles con el vidrio float de la misma empresa.
- Esmaltes para cobre de la casa Soyer.
- Esmaltes para decoración de vidrio de la casa Degussa.
- Vidriados cerámicos coloreados de la casa Degussa.
- Óxido de cobre negro, óxido de manganeso y óxido de cobalto.
- Esmaltes para tercer fuego de Reflejos Cerámicos
- Esmaltes para vidrio proporcionados por Maquimetal

Las pruebas realizadas intentarán resolver estos planteamientos:

1. Cuál es la temperatura más adecuada para colorear vidrio en superficie y en *sándwich*, teniendo en cuenta diferentes grosores de vidrio de base.
2. Compatibilidad de los diferentes productos con el vidrio float, en superficie, en *sándwich*, en capa fina y en capa gruesa.
3. Aditivos y proporciones necesarios para adaptar los esmaltes a su uso en vidrio.
4. Mezclas de diferentes esmaltes y efectos de color.



Esta paleta de colores se ha logrado mediante mezclas y adaptaciones de vidriados Degussa, esmaltes Soyer y esmaltes para la decoración de vidrio, junto con óxidos, fundentes y sílices.

III.2.3.2. Desarrollo de las pruebas

Las pruebas de experimentación de una paleta de colores, descritas en este capítulo, fueron varias. Pero en cualquier procedimiento artístico es necesario experimentar continuamente, por lo que estas pruebas sólo pretenden mostrar el modo de hacer, más que llegar a conclusiones definitivas.

Los hallazgos técnicos se centran en estas ideas:

- Cuestiones generales sobre la preparación de las pruebas. Selección de materiales.
- Curvas de temperatura y sus resultados
- Diferentes problemas encontrados.
- Consideraciones técnicas respecto a la adaptación de esmaltes y vidriados para su uso en vidrio.
- Esmaltes y vidriados: aditivos y proporciones experimentados
- Fritas: incompatibilidades y cambios de color.
- Paleta *segura* y colores hallados
- Posibilidades expresivas de estas técnicas: tridimensionalidad por superposición de capas transparentes.

III.2.3.3. Preparación de las pruebas. Selección de materiales.

El vidrio de base para estas pruebas es, como ya se ha mencionado más arriba, el *float*, tanto de Cristalería Española como de Bohle, de 3 y 6 mm de grosor. Con el fin de utilizar materiales fácilmente asequibles, tanto por su coste como por su disponibilidad, se comenzaron las pruebas utilizando esmaltes para cobre de la casa Soyer, vidriados cerámicos de cocción a 800°C de la casa Degussa, colores para decoración de vidrio de bajo punto de fusión, también de Degussa, colores cerámicos para tercer fuego de Reflejos Cerámicos, esmaltes para vidrio proporcionados por Maquimetal, óxidos de cobre negro y manganeso, bórax (recomendable como fundente en lugar de compuestos de plomo, por su menor nivel de toxicidad), algo de borosilicato de plomo (fundente) y cuarzo molido (utilizado para agregar sílice y *endurecer* las mezclas cuando esto era necesario).



Es necesario utilizar una mascarilla antipolvo o mejor aún, cualquier protección antitóxica. Muchos de los óxidos, fundentes, esmaltes, vidriados, etc. son perjudiciales.

De cada uno de estos productos nos interesa obtener varios datos y esto implica testarlos de diferentes modos:

- **Compatibilidad inicial con el vidrio float de base.** Para ello se prueban los esmaltes y vidriados **en capas muy gruesas**, formando una especie de “pastillas”. La finalidad es conseguir que estos productos, al fundirse, formen una capa de vidrio de varios milímetros de grosor, superpuesta al de base y adherida a éste. Cuanto más gruesa sea la capa de vidrio testada, más difícil es la compatibilidad entre ambos tipos de vidrio. Si el esmalte o el vidriado testado presenta roturas, craquelados, escamaciones o se separa del vidrio de base, estaremos ante una incompatibilidad producida por un diferente coeficiente de dilatación⁷⁰.



⁷⁰ Más adelante en este capítulo se explica qué tipo de incompatibilidades se presentan y cómo solucionarlas (ver p. 249 y siguientes).

Para conseguir que este tipo de prueba sea eficaz, es necesario formar unas montañas comprimidas de material molido de unos 3 mm de altura sobre el vidrio float, y separar unas de otras al menos 20mm. para poder comprobar cada uno de los materiales independientemente. Es preferible darles forma rectangular o cuadrada, pues los ángulos rectos son formas más críticas para las incompatibilidades.



Las pruebas deben marcarse con una sustancia resistente al calor, con la cual indicaremos el material que estamos testando (fabricante, nº de color) y, en su caso, la proporción con otros aditivos. En nuestras pruebas hemos utilizado corrector líquido blanco.

- **Comportamiento de los esmaltes, óxidos y vidriados formando tonos degradados sobre vidrio float o entre dos láminas de éste.** Este tipo de prueba es importante, porque generalmente utilizaremos los esmaltes en capas muy finas sobre el vidrio float o entre dos láminas de vidrio. Cuanto más fina sea la capa de esmalte, vidriado, óxido, etc, menos problemas de incompatibilidades tendremos (MATTHES, 1990). De todos modos, conviene tener en cuenta que, cuando dos vidrios son incompatibles, lo son sea cual sea la proporción de ambos. Lo que sucede es que el vidrio de base tiene más fuerza que el vidrio (esmalte, frit, etc) superpuesto, cuando éste forma una capa fina. Esto quiere decir que la integridad de la obra no se pondrá en gran peligro, no que se solucione la incompatibilidad de coeficientes de dilatación disminuyendo la cantidad de esmalte aplicada.

Este tipo de prueba se realiza utilizando un tamiz y espolvoreando sobre el vidrio el esmalte que estamos testando, tratando de conseguir un efecto de aumento gradual de la saturación. Para cada material haremos esta prueba de dos modos: entre vidrios, y sobre vidrio. Como se verá más adelante, al comentar los resultados de las pruebas, entre vidrios los efectos son mejores, y resulta mucho más difícil conseguir buenos resultados de color sobre vidrio.

También en este caso es necesario marcar cada una de las pruebas con un material resistente al calor, indicando fabricante, nº de color, proporción de otros aditivos.



Preparación de pruebas con colores rojos y con óxidos, mezclados con distintas proporciones de fundente. Todo queda marcado antes de la cocción.

- **Preparación de los esmaltes y vidriados modificados para adaptar su coeficiente de dilatación o su punto de fusión al vidrio de base.**

Se añaden distintas proporciones de bórax (utilizado como fundente), para conseguir bajar el punto de fusión de los vidriados, y, al mismo tiempo, *ablandarlos*, es decir, aumentar su coeficiente de dilatación para acercarlo más al del vidrio. Lo contrario, es decir, el *endurecimiento* o la disminución del coeficiente de dilatación de un vidriado o esmalte puede conseguirse añadiendo más sílice a la proporción de sus componentes, mediante la adición de cuarzo en polvo.

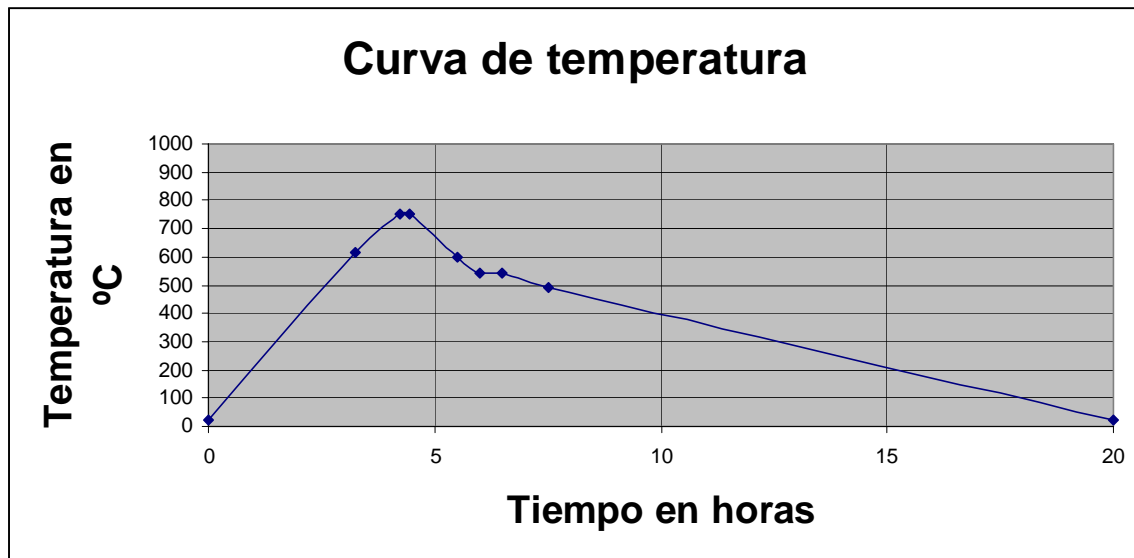
En cualquier caso, es necesario medir las proporciones de aditivos añadidas a los esmaltes de partida. Puede hacerse por peso o por volumen, pero siempre hay que mezclar bien el nuevo compuesto con la ayuda de un mortero de porcelana.



III.2.3.4. Curvas de temperatura y sus resultados⁷¹

En este apartado describiré el proceso seguido para hallar el rango de temperatura más adecuado para la fusión con colores.

Primera curva de cocción para pruebas de esmaltes.



En esta primera cocción se aplicaron los esmaltes y vidriados directamente, sin mezclas con aditivos. Se ensayaron también óxidos. Se probaron tanto en bloque grueso, como en *sándwich* y siempre con vidrio *float* de 3mm. Con ello se pretende comprobar varias cuestiones:

- Compatibilidad con el vidrio de base
- Temperatura de fusión. Aunque se seleccionaron esmaltes para cobre de temperatura de fusión 750°, y vidriados cerámicos de baja temperatura de fusión, entre 800° y 900°, es preciso comprobar que se fundirán a temperaturas adecuadas para el vidrio, puesto que en fusión con vidrio plano no se debe subir la temperatura por encima de los 850°⁷²
- Calidad, transparencia y variación sufrida por los colores utilizados

Los bordes de las piezas salen redondeados, tanto los de una sola hoja de vidrio *float* de 3 mm como los de las piezas *sándwich*, de dos hojas de vidrio de 3mm encerrando proporciones variables de esmaltes. Sin embargo, en estas últimas piezas, se nota con total nitidez dónde están los bordes de unión: las piezas están unidas (*termocollage*) pero la fusión no ha sido suficiente como para aparentar ser un bloque de una sola pieza. Para ello hubiera sido precisa más temperatura. Los esmaltes para cobre y los colores para decorar vidrio se fundieron correctamente indicando que la temperatura alcanzada fue suficiente.

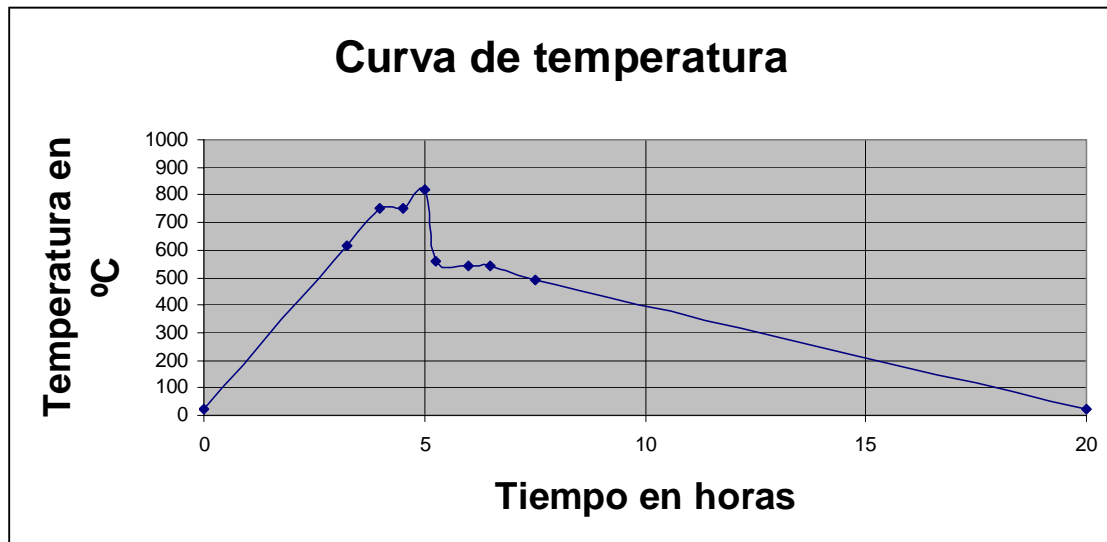
⁷¹ Curvas experimentadas con el horno cerámico. Varían cuando se trabaja con el horno de fusión.

⁷² Más allá de los 900°C el vidrio *float* y otros vidrios de composición y temperaturas críticas semejantes, hierven y se convierten en corrosivos, atacando la composición de las placas del horno.

Sin embargo, los vidriados para cerámica presentaban una textura de gota, debida a la gran tensión superficial alcanzada durante la fusión. Para eliminar esta tensión hubiera sido preciso subir hasta más temperatura.

Todos estos esmaltes y vidriados, a excepción de los colores para la decoración de vidrio, demostraron ser incompatibles y algunos cambiaron de color. Respecto a este asunto hablaré más adelante.

Segunda curva de cocción para pruebas de esmaltes.



El objetivo de esta segunda cocción fue probar óxidos en distintas proporciones con fundente, y la mejora de la compatibilidad de los esmaltes y vidriados al añadir fundente, es decir, al ablandarlos. Sobre todo en el caso de estos últimos, la adición de fundente era necesaria para conseguir bajar el punto de fusión y evitar la formación de gotas por tensión superficial.

La curva anterior se modificó subiendo la temperatura para comprobar si mejoraba la fusión de las piezas tipo *sándwich*. Las tres cuestiones de observación mencionadas para la curva anterior (compatibilidad, temperatura de fusión y calidad de color) también se tuvieron en cuenta en esta cocción.

Esta temperatura demostró ser demasiado elevada para las piezas de una sola capa de vidrio float, que presentan bordes *de aguja* en vez de redondeados, si bien las piezas tipo *sándwich* se fundieron satisfactoriamente.

Tercera curva de cocción para pruebas de esmaltes.

En esta ocasión se trató de continuar con las pruebas de compatibilidad de distintas mezclas de esmaltes, vidriados y óxidos. Se hicieron pruebas de compatibilidad de las fritas Bohle con vidrio float de Cristalería Española, para ver los efectos de una diferencia de coeficientes de expansión cercana a las 8 unidades $\times 10^{-7}$.

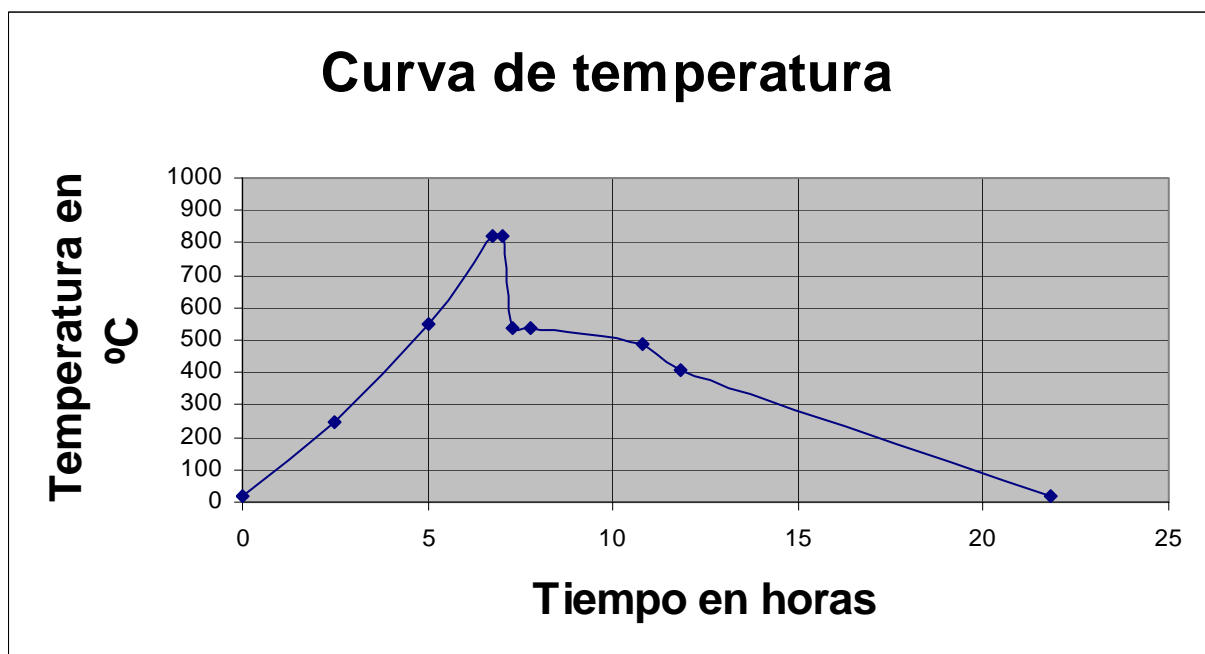
La temperatura máxima descendió hasta los 790° con el fin de evitar la formación de agujas en las capas finas de vidrio. Se pretendía conseguir una

buena fusión sin llegar a la temperatura máxima de la curva anterior haciendo una meseta de 15 minutos a 700°.

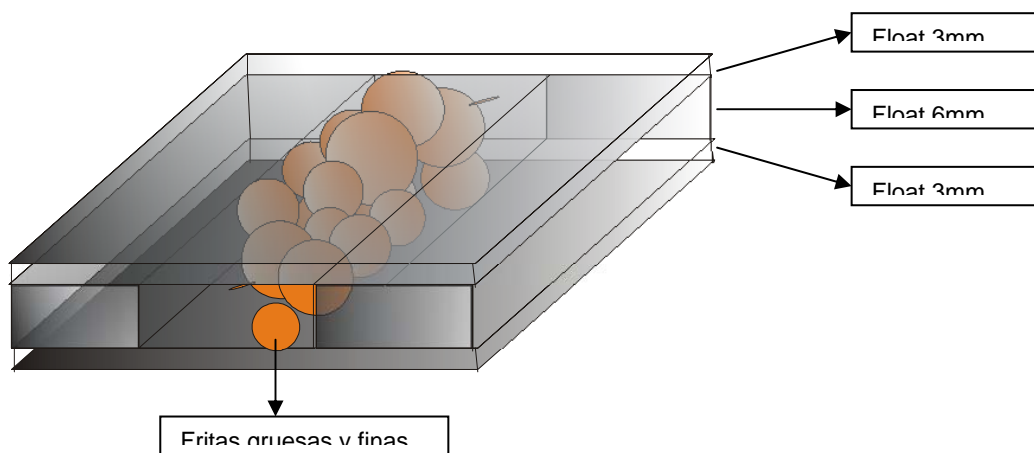
Los resultados no fueron buenos, pues a esta temperatura no se llegaron a fundir las piezas tipo *sándwich*, sin embargo se produjeron agujas en los vidrios simples de 3mm. La temperatura no fue bastante para fundir ciertos colores de fritas (violetas, rojos).



Curva tipo de las siguientes cocciones de esmaltes que se usaron para la investigación descrita en este capítulo



Esta curva demostró ser útil para cocer esmaltes y fritas para un grosor final máximo de la pieza de vidrio de 12 milímetros, equivalente a 4 láminas de 3mm de grosor o tres láminas de 4 milímetros. Para cocer esmaltes, 6 milímetros de grosor hubieran sido suficientes; una lámina de vidrio de 6mm de grosor para experimentar efectos en superficie evita que se formen agujas cuando es necesario alcanzar temperaturas por encima de los 750°C, y dos de 3 mm bastan para experimentar efectos de sándwich. Por tanto, una curva más corta hubiera sido bastante. Pero utilizar esta curva ofrecía las ventajas de meter en una misma hornada esmaltes y otras piezas más gruesas, como las de las fritas de 3 mm, ya que para cocerlas sin crear grandes bolsas de aire es necesario poner tres capas de vidrio como se describe en el esquema siguiente:



En este modelo de curva, se alcanza la temperatura máxima de 820°C, temperatura en la cual las láminas de vidrio superpuestas se curvan y funden sus uniones, haciéndose prácticamente imposible distinguir las piezas por separado.

Los distintos momentos de esta curva se han realizado a partir de las experimentadas con anterioridad, que me han permitido determinar los puntos críticos de viscosidad del vidrio utilizado, pero también a partir de las curvas propuestas en STONE (2000)⁷³, para vidrios de 12 milímetros (4 láminas de 3mm), realizando en ellas las modificaciones oportunas.

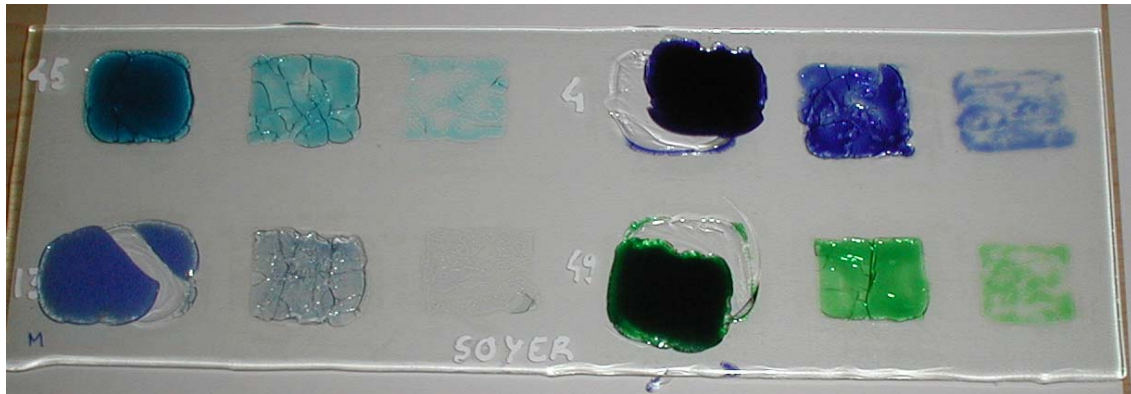
Así, la curva se puede adaptar ligeramente según trabajemos con float de Cristalería Española (ablandamiento: 560°C; termocollage o fusión en relieve: 750°C; fusión total: 820°C; punto de recocido: 540°C; intervalo de recocido: 540°-410°C), float de Bohle (ablandamiento: 568°C; termocollage o fusión en relieve: 755°C; fusión total: 820°C; punto de recocido: 548°C; intervalo de recocido: 548°-410°C), o incluso Bullseye (ablandamiento: 550°C; termocollage o fusión en relieve: 700°C; fusión total: 800°C; punto de recocido: 520°C; intervalo de recocido: 520°-410°C). Estos rangos de temperaturas sólo son válidos para el horno utilizado en estas pruebas, y han sido hallados empíricamente.

⁷³ STONE, GRAHAM (2000): *Firing Schedules for Glass*. The Kiln Companion, Melbourne.

III.2.3.5. Diferentes problemas encontrados

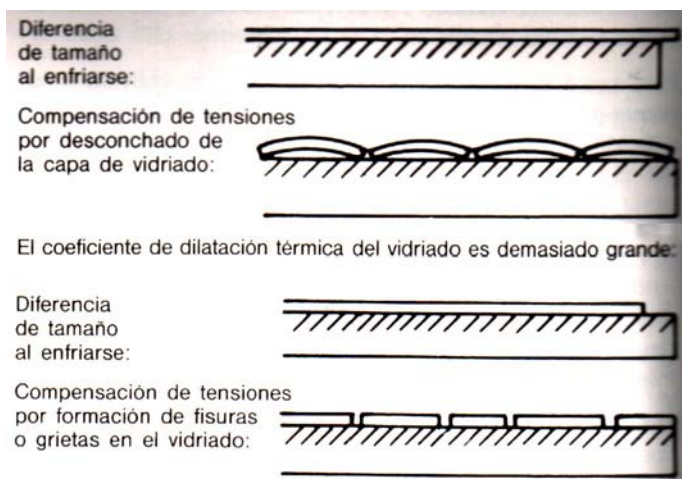
- **Incompatibilidades con esmaltes y vidriados.**

Como ejemplo de las incompatibilidades halladas en las tres cocciones a las que hace referencia este capítulo, mostraré las más destacadas. La primera prueba demostró incompatibilidades con los esmaltes Soyer para cobre utilizados en superficie. Algunos de los esmaltes llegaron incluso a desprenderse del vidrio float de base.



En esta imagen se aprecian dos de los tipos de incompatibilidad que vamos a hallar. Por una parte, los esmaltes en capa más gruesa forman un vidrio superpuesto al float de base, que se desprende de éste, mientras que, por otra parte, en capas más finas sólo presentan un craquelado, pero no hay roturas graves ni desprendimiento de fragmentos. Por esta razón se dijo antes que cuando dos vidrios son incompatibles, lo son sea cual sea su proporción, pero si uno de ellos es muy fino, no arriesga gravemente la obra.

Cabe hacerse la siguiente pregunta: la incompatibilidad observada, ¿se debe a que el esmalte Soyer tiene un coeficiente de dilatación mayor o menor que el vidrio float? Con la ayuda de un polariscopio sería posible averiguarlo, pero también se pueden leer los defectos encontrados.



Tomado de MATTHES, W (1990):
Vidriados cerámicos. Ediciones Omega, Barcelona, p. 38.

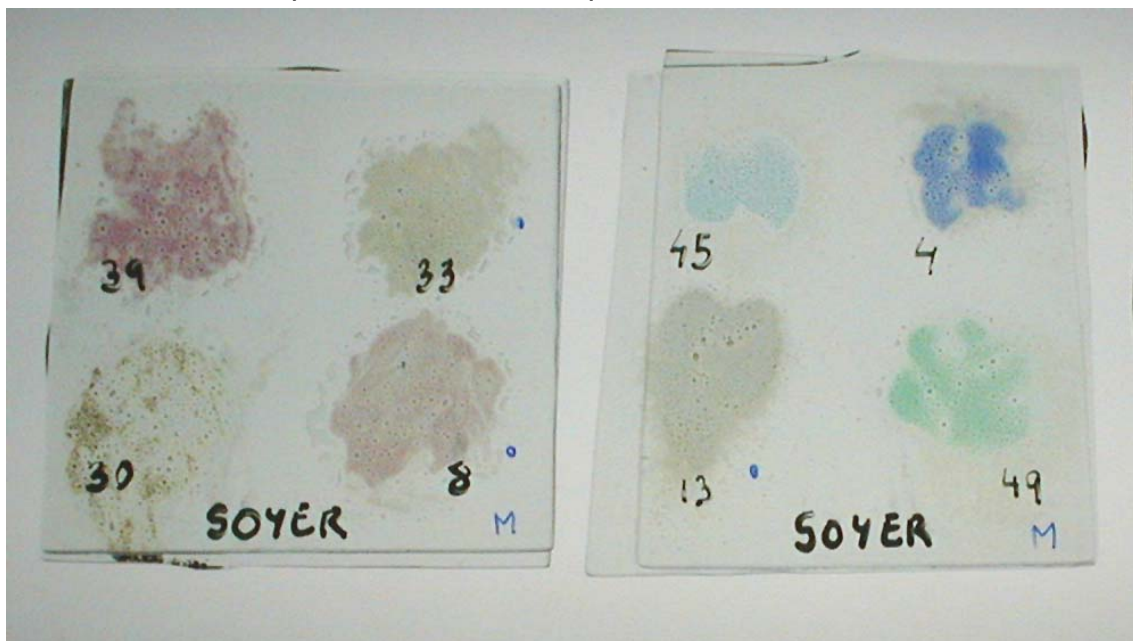
En los dos primeros dibujos vemos lo que sucede si el coeficiente de dilatación térmica del vidriado es demasiado pequeño, mientras que en los dos últimos vemos lo que sucede si es demasiado grande.

En este caso la dilatación térmica del esmalte es mayor que la del vidrio⁷⁴; esto provoca que al enfriarse su tamaño sea menor que el del vidrio float y por esa razón se desprenda de él. Las grietas que presentan las capas más finas de esmalte se deberían a esta mayor contracción sufrida por el esmalte⁷⁵.

- **Cambios de color**

Sigamos tomando como ejemplo la primera cocción. En el caso de los esmaltes Soyer, al utilizarlos en *sándwich*, no se observaron grietas ni roturas si se ponían en pequeña cantidad. Sin embargo, sí que se observaron modificaciones en los colores respecto a los esperados.

Estos cambios de color pueden deberse tanto a la utilización en un rango de temperaturas más elevado de aquél para el que están destinados (750° C) como a reacciones químicas con los componentes del vidrio float.



Algunos colores cambian totalmente, como el 13, que se supone era un azul cerúleo y cambia a pardo. Lo mismo sucede con el 8, que se supone un rojo sangre y cambia a pardo-violáceo.

Otro tanto puede decirse del vidriado Degussa rojo, que tomaba un aspecto anaranjado y opaco.

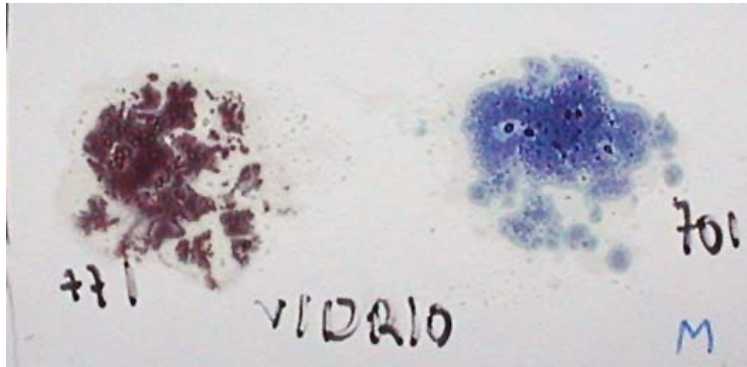
También cambia el color de los esmaltes de tercer fuego rojo DV0860 y amarillo VP3115 cuando se cuecen entre vidrios.

⁷⁴ La mayoría de los esmaltes para cobre tienen un coeficiente de dilatación entre los 350 y los 400 x 10⁻⁷

⁷⁵ Refuerza esta idea la experimentación que se describirá más adelante, en la cual se interpretó erróneamente la diferencia de coeficientes de dilatación, y se creyó que el esmalte Soyer tenía un coeficiente menor que el del vidrio; para ajustar esta diferencia se experimentaron diferentes proporciones de mezcla con bórax (fundente que también aumenta el coeficiente de dilatación) obteniéndose resultados contrarios a los previstos.

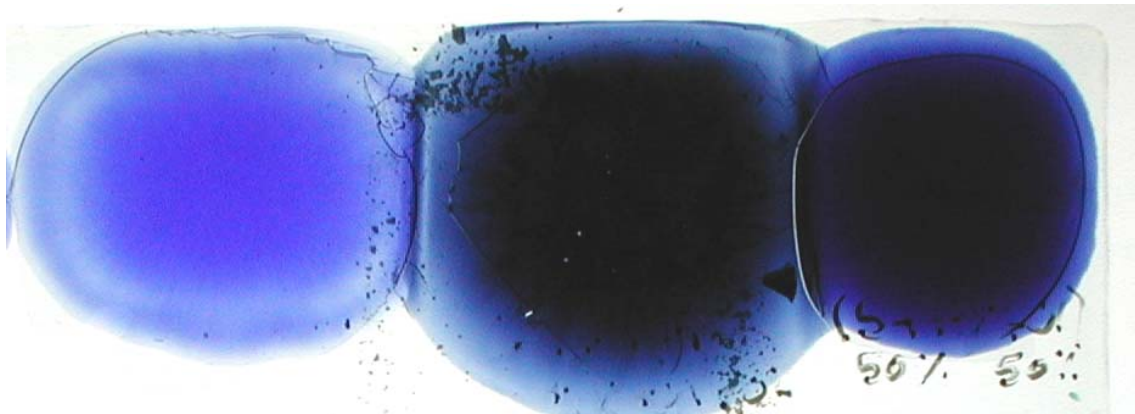
- **Deficiente cocción de esmaltes y vidriados**

Este es otro de los problemas que surgen al trabajar en la adaptación de esmaltes y vidriados a otros usos. Si la temperatura es superior a aquella para la que la mezcla ha sido creada (algo habitual con los esmaltes para metales y para decoración de vajillas de vidrio), podemos encontrar colores muy apagados o pardos con aspecto coagulado.



La fotografía muestra el resultado de cocer esmalte para vidrio de 550° a la temperatura de 750°. Se aprecia una disociación de componentes, formando una textura coagulada. Esta reacción se presentó tanto en superficie como en *sándwich*.

También por dar a los esmaltes más temperatura de la adecuada podemos hallar otro problema, la dificultad para mantener la forma que se le dio, debido a una excesiva fluidez.



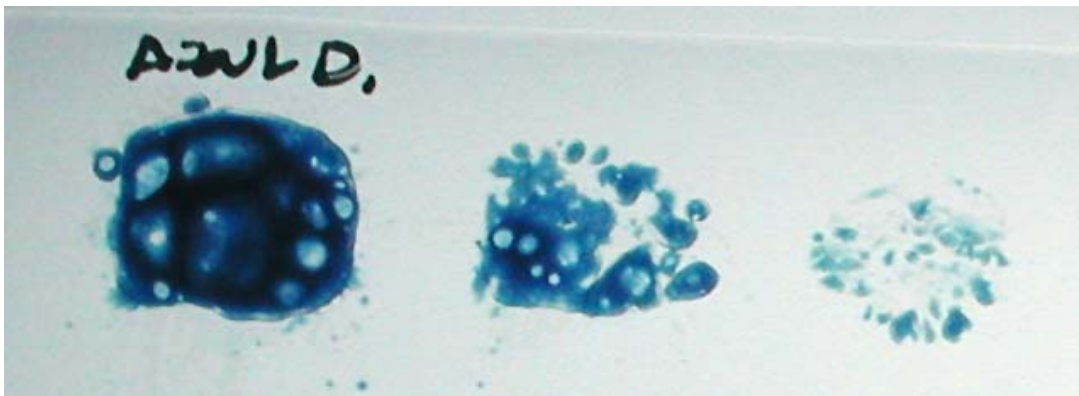
Estos esmaltes mezclados con fundente tenían un punto de fusión más bajo que el que se dio en la curva de temperatura.

Si, por el contrario, la temperatura es inferior a lo necesario, lo que nos sucederá casi siempre con los vidriados, hallaremos infusiones en forma de aspecto "polvoriento", sobre todo si es entre dos vidrios, o de "gota", que se debe a una excesiva tensión superficial del vidriado al no recibir suficiente calor como para fluidificarse.



Fusión deficiente en forma de gota debida a escasa temperatura para alcanzar fluidez

Otro defecto debido a la falta de calor es la presencia de cierto tipo de burbujeo, sobre todo si en la composición del esmalte había elementos alcalinos. A altas temperaturas los vidriados alcalinos tienen la suficiente fluidez como para *afinarse*, es decir, eliminar los gases que se producen en las reacciones químicas de vitrificación. Si no se alcanza esta temperatura, los gases permanecen dentro del vidriado en forma de burbujeo.



Fusión deficiente debida a la falta de temperatura para conseguir la afinación de gases producidos por los elementos alcalinos de la composición del vidriado.

• Desvitrificaciones

Las desvitrificaciones, como se indicó en el epígrafe 1.3.6. del capítulo 1.3. *El vidrio como material. Características físico-químicas* (p. 92) se deben a que ciertos elementos de la masa vítrea salen de ella y se cristalizan. Frecuentemente estos elementos son álcalis. Las desvitrificaciones se producen sobre todo si se permanece mucho tiempo entre los 850° y los 600°C, que son las temperaturas en las que el vidrio está fluido, dando oportunidad a ciertos componentes a *alinearse* nuevamente siguiendo un patrón cristalino.

La suciedad dentro del horno o en la superficie del vidrio puede contribuir a esa desvitrificación.

Se fabrican diferentes productos comerciales para evitar la desvitrificación, que consisten básicamente en un fundente disuelto en algún líquido que puede aplicarse en la superficie del vidrio antes de hornearlo y crea sobre este una capa brillante.

La desvitrificación se muestra como un velo blanquecino, generalmente en la superficie del vidrio, que opacifica parcialmente éste, quitándole brillo. Al observar a través de un microscopio con 500 aumentos, podremos ver una textura semejante a agujas de hielo.



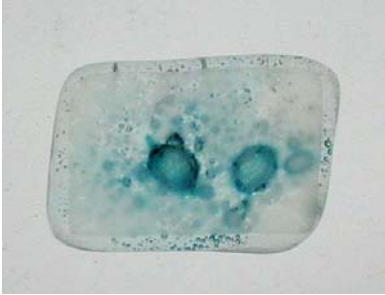
Detalle de una fotografía tomada por mí de una vista al microscopio de un vidrio parcialmente desvitrificado. Se forman agujas que recuerdan las de hielo.

En los procesos de vitrofusión, “el fenómeno de la desvitrificación actúa en el intervalo térmico de 650° a 850°C, sea en el calentamiento o en el enfriamiento”⁷⁶. Puede deberse a los siguientes factores, como he podido comprobar en las pruebas realizadas:

- Temperatura. Un descenso demasiado lento entre la temperatura máxima de la curva y los 550° C. En este caso, todas las piezas de una hornada, o de una misma bandeja de horno, aparecen parcial o totalmente desvitrificadas. La combinación tiempo-temperatura suele ser el principal agente de desvitrificación. Para evitar la desvitrificación al conseguir la fusión total, por ejemplo, es mejor estar menos tiempo a mayor temperatura que más tiempo a menor temperatura⁷⁷.
- Suciedad. El vidrio debe estar totalmente limpio antes de ponerlo en el horno. La grasa de las herramientas de corte, así como el polvo, pueden provocar desvitrificaciones.
- Estaño. El vidrio flotado, por la técnica de fabricación, tiene una de sus caras con impurezas de estaño. Esta cara puede reaccionar químicamente con ciertos esmaltes y también desvitrificarse.

⁷⁶ BUBBICO, G.; CROUS, J., y G. (1999): *Technique e arte del vetro*. Ed. Demetra, Cologna ai Colli, p.70.

⁷⁷ “El primer remedio para combatir este defecto es la temperatura: mantenerla antes elevada que baja”. ENÉRIZ BOZAL, C.(1948): *Vidrio. Materias y fórmulas de fabricación*. Artes Gráficas Vernet, Barcelona.

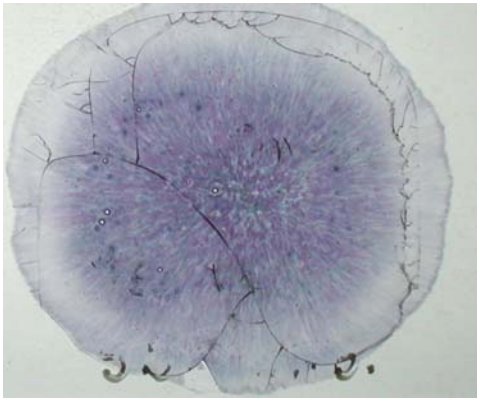


Esta pieza es una tesela de un tamaño aproximado de 3 x 4 cm.

En ella se aprecia una desvitrificación debida seguramente a presencia de estaño en la superficie del vidrio, ya que se aprecia claramente la forma de la zona que se corresponde al estaño, mientras que el resto del vidrio no está desvitrificado.

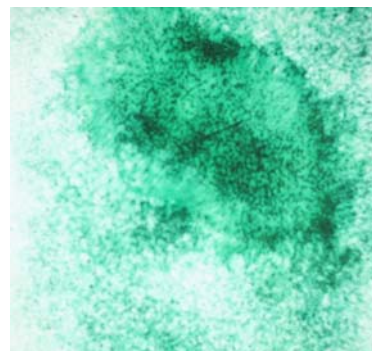
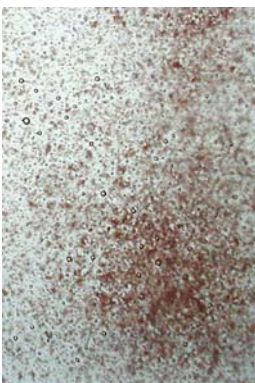
- **Otras cristalizaciones.**

La mezcla de dos esmaltes entre sí, o de un esmalte para metales con otro para vidrio, o con un vidriado puede producir reacciones inesperadas entre los óxidos, fundentes y vitrificables presentes en esos materiales. Se producen efectos de “cristalizaciones” y de “polvo”. Las primeras se deben a reacciones entre los componentes, y las segundas a la presencia de elementos infundidos.



Cristalizaciones debidas a mezclas de esmaltes diferentes. Se producen sobre todo con los colores rojos y amarillos en los que hay presencia de óxidos de cadmio o selenio.

Las siguientes fotografías muestran mezclas en las que hay polvo en suspensión, tal vez debido a la presencia de elementos transparentes y opacos procedentes de reacciones entre los dos esmaltes:



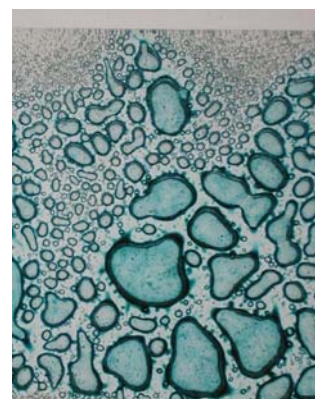
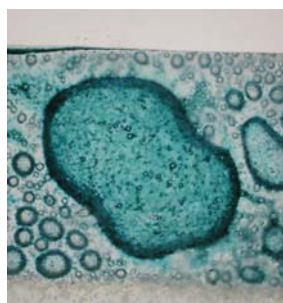
En estas imágenes aparecen ambos tipos de defecto, cristalizaciones y polvo en suspensión, en la misma muestra:



• Burbujas

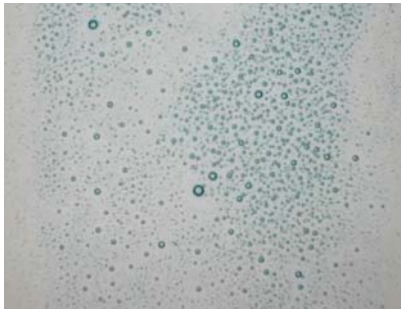
Ya hemos mencionado anteriormente un tipo de burbuja, el debido a falta de temperatura para alcanzar el nivel de fluidez necesario para eliminar los gases producidos por los álcalis. Estas burbujas se presentan cuando el esmalte se pone en la superficie y también en *sándwich*. Otros tipos de burbujas se presentarán frecuentemente al trabajar con esmaltes, óxidos y fritas entre dos vidrios planos. En las pruebas he hallado estas: las producidas por el fundente utilizado, bórax, que es alcalino; las debidas al exceso de óxidos de cobre negro y de manganeso, y las producidas por aire ocluido entre las fritas. Sin embargo, LUNDSTROM, B. (1991)⁷⁸, señala que sobrecocer el esmalte causa burbujeo y pérdida de color.

Siendo rigurosos estas burbujas son defectos de producción. Sin embargo, cuando son controladas constituyen un recurso expresivo. Al testar las diferentes mezclas de esmaltes sobre el vidrio pueden observarse distintos tamaños de burbujas. Las más grandes e irregulares deberán evitarse para no poner en riesgo la obra (no hay que olvidar que las paredes de estas burbujas son más finas que el resto del vidrio y se pueden producir tensiones y roturas).

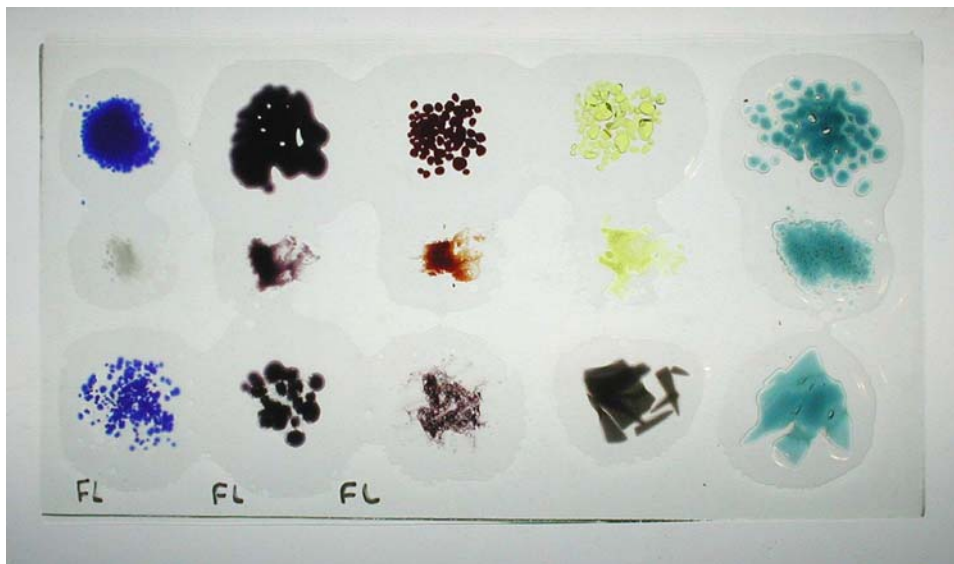
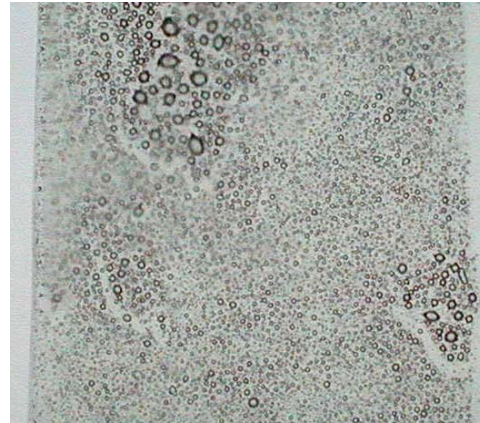
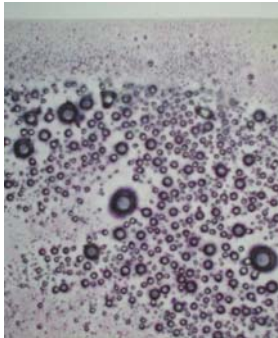


Burbujas debidas a la cantidad excesiva de óxidos. A la izquierda, óxido de manganeso. A la derecha, óxido de cobre negro, en burbujas descontroladas. Las de arriba, por su tamaño, pondrían en peligro la obra.

⁷⁸ LUNDSTROM, B. (1991), *Advanced Fusing Techniques*. Vitreous Publications, Camp Colton.



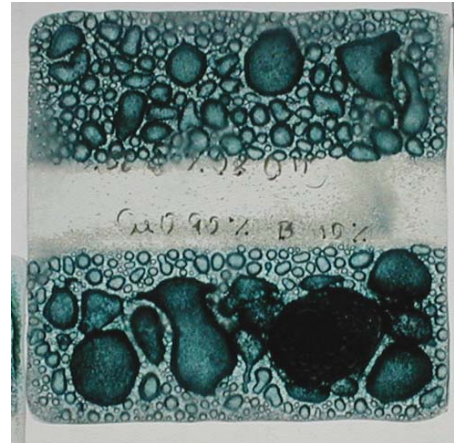
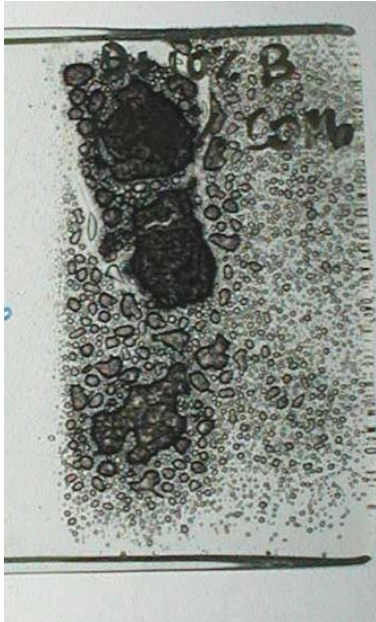
Tres tipos diferentes de burbujas debidas a la presencia de bórax mezclado con los esmaltes.



Las fritas se han colocado, en frío, entre dos capas de vidrio plano. De este modo, tras llegar a una temperatura aproximada de 650°C, se ablanda el vidrio de arriba, que por efecto de la gravedad ha caído sobre el de abajo adhiriéndose a él antes de que las fritas se hubieran fundido con el vidrio de base, encerrándose así aire entre los dos vidrios.

- **Zonas ennegrecidas por exceso de óxido**

Parte de la experimentación consistió en utilizar óxidos solos o mezclados con bórax, en superficie o entre vidrios, o utilizar los óxidos mezclados con esmaltes y vidriados para matizar sus colores. El resultado fue que, en algunos casos, se puso excesiva cantidad de óxido colorante, dando como resultado un color negro opaco. Esto se debe a un exceso de materia colorante.



A la izquierda, exceso de óxido de manganeso. Arriba, exceso de óxido de cobre.

III.2.3.6. Consideraciones técnicas respecto a la adaptación de esmaltes y vidriados para su uso en vidrio.

- **Vidrio, vidriado y esmalte.**

La diferencia entre estos tres términos tiene relación con su utilización. El vidrio tiene una composición homogénea, y de él interesa generalmente su comportamiento en caliente, en la temperatura y fluidez necesarias para trabajar con él. Los vidriados cerámicos, sin embargo, deben tener una composición que les permita adaptarse a la pasta cerámica bizcochada, y han de reaccionar con aquélla para adquirir su forma, color y consistencia. Otra cuestión importante es la viscosidad: mientras que en el vidrio interesa que sea fluido, para poder fundirlo, afinarlo y trabajarlo adecuadamente, en el vidriado es más importante evitar que el exceso de fluidez haga que se escurra de la pieza cerámica cuando se alcance la temperatura de fusión. Esto se consigue añadiendo mayores proporciones de alúmina.

Por su parte, “los esmaltes son sustancias vítreas que se funden sobre metales”⁷⁹. Su temperatura de fusión es más baja que la de los vidriados (entre los 750 y los 900°C), y soportan los elevados coeficientes de dilatación de los metales.

⁷⁹ MATTHES, W. E. : *Vidriados cerámicos*. Omega, Barcelona, 1990, p. 27.

- **Cómo adaptar un esmalte o vidriado de uso en cerámica o cobre para su uso en vidrio.**

Estos compuestos son en realidad vidrios, preparados de manera que su viscosidad, su coeficiente de dilatación y otras características físico-químicas permitan la adherencia a las superficies cerámicas o metálicas.

Pueden utilizarse esmaltes y vidriados comerciales. Los mejores son los esmaltes para metales⁸⁰. También hay esmaltes para vidrio, con un punto de fusión muy bajo para no deformarlo. Suelen tener gran cantidad de fundentes (plomo y potasio, generalmente) para bajar la temperatura de fusión.

En la industria del vidrio utilitario, se usan esmaltes para decorar vajillas. Se prefieren aquellos que tienen un coeficiente de dilatación más bajo que los vidrios que les sirven de base, porque son más duraderos, al estar comprimida la superficie.

Para la mayoría de trabajos artísticos no son convenientes los altos coeficientes de dilatación de los esmaltes para metales⁸¹, ni los bajos coeficientes de los vidriados. No son apropiados porque en el trabajo artístico se usan capas gruesas de esmalte, mientras que en industria o metales son finas. Además, las piezas artísticas de vidrio también suelen ser más grandes que las utilitarias.

Por otra parte, las temperaturas de cocción de esmaltes y vidriados no siempre serán las más adecuadas para su uso con el vidrio.

La fórmula de los esmaltes debe modificarse, a no ser que el fabricante los haya formulado específicamente para vidrio. La modificación realizada será específica para el vidrio que se vaya a utilizar, puesto que de uno a otro varía el coeficiente de dilatación.

LUNDSTROM (1983)⁸² describe un método para corregir coeficientes de dilatación de los esmaltes. Lo ejemplifica con los esmaltes Thompson especiales para float, que no son compatibles con el vidrio Bullseye. Dichos esmaltes tienen un coeficiente de dilatación aproximado de 85, mientras que el del vidrio Bullseye es de 90. Propone mezclarlos con esmaltes plúmbicos para cobre, con un coeficiente mucho más alto.

Se propone experimentar diversas proporciones (en volumen): 8 de Thompson, por 1 de esmalte para cobre, 8 de esmalte Thompson por 2 de esmalte para cobre, etc.

⁸⁰ LUNDSTROM, 1991, p. 53.

⁸¹ Como ya se mencionó más arriba, deben adaptarse a los elevados coeficientes de dilatación de los metales.

⁸² LUNDSTROM, B. (1983): *Kiln Firing Glass, Book One*.

Cada proporción se mezcla en el mortero y se coloca sobre un vidrio transparente formando un montoncito. Tras cocer la muestra, se comprobará el resultado en el polariscopio.

- **Generalidades sobre la formulación de vidriados y esmaltes.**

Los ceramistas conocen la *Fórmula de Seger*⁸³, para calcular composiciones de vidrios usando un método molecular.

Seger clasifica los óxidos⁸⁴ en tres grupos, en tres columnas:

1º	2º	3º
ÓXIDOS MONO Y DIVALENTES	ÓXIDOS DE ELEMENTOS TRIVALENTES	ÓXIDOS DE LOS ELEMENTOS PENTA Y TETRAVALENTES
Modificadores del retículo vítreo	Modificadores y formadores del retículo vítreo	Formadores del retículo vítreo
$RO + R_2O$ ⁸⁵	R_2O_3	RO_2
Su suma da 1	Suele ser Al_2O_3	SiO_2
COLUMNA BÁSICA	COLUMNA NEUTRA	COLUMNA ÁCIDA

No se tienen en cuenta los óxidos colorantes porque intervienen en una proporción muy pequeña.

El interés de esta fórmula es que se ofrecen unos límites entre los cuales estos vidriados pueden ser creados. Hay que señalar que, fuera de estos límites, los vidriados pueden ser inservibles porque se vuelvan solubles en agua (por un exceso de álcalis) o porque no formen el retículo vítreo.

El límite para bajo intervalo de fusión es el que nos interesa conocer, puesto que lo utilizaremos en vidrio:

$R_2 + RO = 1$	Al_2O_3 0,05-0,3	SiO_2 1,0-3,0
Na_2O K_2O PbO CaO (en poca cantidad)		

⁸³ Datos según MATTHES, 1990, p. 40 y siguientes.

⁸⁴ Respecto a los óxidos como componentes del vidrio, ver I.3.2. *Composición de los vidrios*, p. 84.

⁸⁵ R indica un ión metálico cualquiera

Esta fórmula y consideraciones serán de gran utilidad cuando queramos producir nuestro propio vidriado, para saber en qué proporciones podemos mezclar los diferentes componentes. También puede ser útil cuando se quiera modificar la composición conocida de un esmalte o vidriado, o cuando se quiera saber qué proporción de un óxido podemos añadir sin riesgo.

- **Los colores de los esmaltes y vidriados.**

Siguiendo a MATTHES, existen tres modos de coloración de los vidriados:

1. Por disolución o por iones. Los compuestos colorantes se disuelven totalmente en la masa de vidrio, con efecto transparente incluso en colores intensos. Entre ellos: verde cobre, amarillo hierro, verde hierro, violeta de manganeso.
2. Coloración con pigmentos. Sustancias colorantes finamente dispersas en el vidriado, en forma de partículas. Los vidriados se vuelven opacos: verde cromo, pardo de hierro, amarillo de vanadio, amarillo de Nápoles, rojo rosado.
3. Coloración coloidal u óptica. El vidriado lleva en suspensión partículas coloidales submicroscópicas (de 100 a 10 nm.) que sólo absorben luz de determinadas longitudes de onda, de acuerdo con el tamaño de las partículas, reflejando tan sólo la luz roja (cobre y oro metálicos), el azul (cobre metálico, gotículas de vidrio de boro, compuesto de titanio) o el amarillo (plata o bismuto metálico)

Si los óxidos no se disuelven en la masa vítrea, aportan su propio color como pigmentos. Es el caso del CuO que en grandes cantidades no da verde, sino negro, opacificando la masa vítrea.

A menor temperatura de fusión, mayor gama de colores y más estables serán estos. Si la temperatura es muy elevada, los colores se disuelven demasiado en vidrio fundido, se destruyen por el calor o se desintegran en componentes no colorantes.

También la atmósfera reductora cambia los colores del óxido de cobre, de hierro, de titanio, de antimonio, bismuto, oro y plata.



Los compuestos del vidriado también influyen en la coloración. Algunos óxidos colorantes sólo dan determinados colores en cierta composición de la masa vítrea. Esto explicaría ciertos cambios de color en los esmaltes para tercer fuego, cuando son cocidos entre dos piezas de vidrio float.

Algunos colores varían si se hacen segundas cocciones.

- **Cómo ajustar el coeficiente de dilatación térmica de un esmalte o vidriado.**

Para equilibrar el coeficiente de dilatación de estos productos pueden hacerse varias operaciones. Casi todas consisten en añadir diferentes proporciones de sustancias. Sin embargo, es necesario probar previamente los resultados, porque los esmaltes y vidriados tienen estructuras complejas. Al añadir otro elemento pueden desencadenarse reacciones diversas. Por ejemplo, es muy difícil alterar las mezclas eutécticas. Podemos hacer lo siguiente:

1. **Mezclar esmaltes de diferente coeficiente de dilatación y obtener una mezcla con coeficiente distinto al de aquéllos⁸⁶.** El inconveniente de este sistema es que el nuevo coeficiente no puede calcularse matemáticamente.
2. **Si el coeficiente de dilatación es menor que el del vidrio de base, se puede añadir alguna sustancia que haga aumentar este coeficiente.** Este cuadro muestra los elementos cuya presencia en mayor o menor proporción en la fórmula hace que el coeficiente de dilatación sea mayor o menor⁸⁷:

(Li ₂ O)	 <p>Al aumentar la proporción en el vidriado, aumenta el coeficiente de dilatación térmica.</p>
Na ₂ O	
K ₂ O	
SrO	
(Cr ₂ O ₃)	
(Al ₂ O ₃)	
CaO	
(BaO)	
CoO	
TiO ₂	<p>En los óxidos entre paréntesis, el efecto es muy variable según la restante composición del vidriado, y la cantidad. El Al₂O₃ apenas altera el coeficiente de dilatación térmica</p>
NiO	
Fe ₂ O ₃	
Al ₂ O ₃	
Sb ₂ O ₃	
PbO	
(BaO)	
CuO	
MnO	 <p>Al aumentar la proporción en el vidriado, disminuye el coeficiente de dilatación térmica.</p>
ZrO ₂	
SnO ₂	
P ₂ O ₅	
ZnO	
(Al ₂ O ₃)	
(MgO)	
SiO ₂	
B ₂ O ₃	

⁸⁶ LUNDSTROM, B. (1991), p. 55.

⁸⁷ MATTHES, W. (1990), p.60

De los elementos que aparecen en esta tabla, es fácil disponer de SiO_2 (en la forma comercial de cuarzo en polvo y de talco en polvo – $3\text{MgO} \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$)⁸⁸ para *endurecer*, es decir, bajar el coeficiente de dilatación de un vidriado o esmalte.⁸⁹

Los materiales más asequibles para introducir en el esmalte o vidriado sodio o potasio (*ablandan* el vidrio) son el bicarbonato sódico, el potásico y el cloruro de sodio. Sin embargo, presentan grandes inconvenientes:

- El cloruro de sodio cambia los colores, puede dañar el recubrimiento cerámico del horno, y, lo que es peor, desprende gases de cloro, muy tóxicos.
- Los bicarbonatos sódico y potásico tienen como principales componentes gases: oxígeno y carbono. Si no se combinan con otro material en la fusión (por exceso de bicarbonato en relación a la proporción de esmalte), estos gases se liberan y hacen grandes burbujas, muy difíciles de controlar. El bicarbonato es muy peligroso. Un porcentaje superior al 1% puede producir bolas de aire tan grandes que dejen el vidrio craquelado o bufado.

Artistas como Miriam di Fiore⁹⁰ consideran que añadiendo fundentes a un esmalte demasiado duro, se ablandará. Por esta razón recomienda utilizar bórax para *ablandar* los esmaltes. Si tenemos en cuenta la tabla anterior, el caso del bórax ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$) puede resultar complejo, pues esta sustancia introduce Sodio, que aumenta el coeficiente de dilatación, pero también Boro, que lo disminuye. En la práctica realizada he podido confirmar la idea de Miriam di Fiore.

3. Adición de diferentes fritas y fundentes.

Cuando expone la manera de ajustar el coeficiente de dilatación de los esmaltes para utilizarse en vidrio, LUNDSTROM, B. (1991), indica diferentes proporciones de mezcla de “flux” (fundente) e incluye dentro de estas sustancias lo siguiente:

- *Glass bridge*, vidrio molido rico en plomo
- *Monosilicato de plomo* en forma de frita
- *Esmaltes de bajo punto de fusión* (Thompson 426, Thompson 2020 y Versa Colors 85⁹¹). Son esmaltes blandos, que funden a 600°C.

⁸⁸ El boro, para que endurezca realmente un esmalte o vidriado, debe presentarse como ácido bórico cristalizado, cuya fórmula es $\text{B}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$.

⁸⁹ En un vidriado para un determinado intervalo de fusión, la adición de 0,1 mol de SiO_2 aumenta el punto de fusión en 20°C. Esto se debe tener en cuenta cuando se use para endurecer esmaltes, pues puede ser preciso añadir cierta cantidad de fundente para compensar.

⁹⁰ FIORE, M.: comunicación personal en curso sobre vitrofusión. Esta idea parece coincidir con LUNDSTROM, B. (1991), como se verá en el siguiente epígrafe.

⁹¹ Estos esmaltes no están disponibles en España.

- **Ajustar el punto de fusión**

Esta es otra de las preocupaciones que debemos tener cuando vayamos a trabajar con esmaltes y vidriados sobre vidrio.

Esmaltes para decoración de vidrio.

Generalmente, los esmaltes específicos para vidrio funden a una temperatura de unos 500-600°C, pues su uso habitual es la decoración de objetos de vidrio ya conformados, y una temperatura superior causaría deformaciones. Sin embargo, nos proponemos desarrollar un trabajo en el que debe alcanzarse suficiente temperatura para llegar al termoformado (600°-700° C) o incluso fusionar dos vidrios (750°-850°C). En este caso es necesario probar estos esmaltes para vidrio y ver cómo se comportan a más temperatura. Pueden utilizarse mezclados con otros esmaltes que precisen una temperatura de fusión más elevada.

Esmaltes para metales.

Su punto de fusión suele ser adecuado para el trabajo que realizaremos con el vidrio, pues suelen fundirse entre los 800° y los 900°C. Sin embargo, es preciso hacer una prueba preliminar para comprobar que la temperatura es adecuada.

Miriam di Fiore cree que a los esmaltes para metales se les puede añadir un pequeño porcentaje de sílice (para endurecerlos) y de bórax (para bajar el punto de fusión que, debido a la adición de sílice, habrá aumentado). En los esmaltes Soyer para cobre, esta doble adición ha resultado positiva en algunos casos, como en el S39 (rojo violáceo).

LUNDSTROM, B. (1991), señala que los esmaltes blandos no se adhieren tan bien al float como lo hacen al Bullseye. Para solucionarlo, se puede dar en el float una primera capa de esmalte duro, y después poner encima el blando. (este autor considera blandos los de fusión entre 540 y 650°C y duros los que funden a más temperatura).

Vidriados cerámicos de bajo intervalo de fusión (850-1000° C).

Si no se alcanza la temperatura suficiente para la adecuada vitrificación, podemos hallarnos ante los siguientes problemas:

- Un esmalte cerámico con poca estructura vítrea se adhiere al vidrio pero no se funde, dejando una textura rugosa y desagradable. Si se pone entre dos vidrios, queda con un aspecto terroso.
- También pueden producirse burbujeros si el vidriado es muy alcalino, pues no se alcanza la temperatura adecuada para eliminar esos gases⁹².

⁹² Ver epígrafe dedicado a la deficiente cocción de esmaltes y vidriados, donde pueden hallarse fotografías de vidriados con estos problemas, surgidos durante la experimentación.

- Otro problema puede ser el exceso de tensión superficial que crea una textura de gota, al no haberse alcanzado suficiente temperatura para lograr más fluidez en el vidriado.

Estos problemas se solucionarán añadiendo fundentes. Sin embargo, hay que tener en cuenta que el fundente puede influir en ligeros cambios de color o de textura del vidriado, y que no todos los fundentes son adecuados en determinados intervalos térmicos.

MATTHES⁹³ presenta una gráfica en la que muestra qué fundentes pueden utilizarse en distintos intervalos de fusión. He extraído el listado correspondiente al intervalo 800º-900ºC, ordenándolos de mayor a menor adecuación:

- Óxidos de sodio y potasio
- Fritas alcalinas
- Óxido de plomo
- Óxido de boro
- Fritas de álcali-plomo-boro

A menor temperatura de fusión, mayor debe ser la proporción de PbO, Na₂O, K₂O y B₂O₃. La proporción de CaO también deberá disminuir si se quiere tener un bajo intervalo de fusión.

- **Otras cuestiones que influyen en la temperatura de fusión de vidriados y esmaltes.**

1. **Tamaño del grano y mezcla**⁹⁴. Cuanto más fina e intensamente haya sido hecha la mezcla de los distintos componentes, tanto más temprano (es decir, a menor temperatura) comienza a vitrificar dicha mezcla.
2. **Velocidad de calentamiento.** El vidriado fundirá antes si se calienta lentamente por encima del intervalo de transformación (aproximadamente 500º-600ºC), puesto que el proceso de fusión se pone en marcha a partir de un paulatino reblandecimiento. Si se calienta deprisa⁹⁵, hay que cocer a una temperatura más elevada para que el vidriado se funda totalmente.
3. **Temperatura de cocción definitiva.** Hay que mantener más o menos tiempo la temperatura de la cocción final para conseguir cierta homogeneidad en el horno, liberar los gases y afinar el vidriado⁹⁶.

⁹³ MATTHES, W. (1990), op. Cit, p. 42.

⁹⁴ Este epígrafe sigue lo expuesto por MATTHES (1990), pags. 51 y siguientes.

⁹⁵ En el caso del trabajo con vidrio es así, puesto que a partir de los 650º pueden producirse desvitrificaciones si se permanece demasiado tiempo en ese intervalo de temperatura.

⁹⁶ En nuestro modo de trabajo esta meseta debe ser brevísima, también a causa del riesgo de desvitrificación.

III.2.3.7. Los óxidos como agentes colorantes del vidrio en las técnicas de fusión.

Los óxidos tienen propiedades pigmentarias, pero no estructura vítrea como los vidriados, esmaltes o colores para tercer fuego. Pueden usarse solos entre dos láminas de vidrio, con ayuda de un compuesto fundente como el bórax, a base de sodio, u otro fundente plúmbico, como el borosilicato de plomo.

Los óxidos producen unos colores llenos de burbujas, resultado de la eliminación de oxígeno durante la reacción química entre el vidrio, el óxido y el fundente. El bórax o el fundente se espolvorean sobre el óxido en una proporción no demasiado grande, para no crear grandes bolas de aire.

KOHLER (1998)⁹⁷, sugiere la posibilidad de fabricar uno mismo los esmaltes mezclando pigmentos con fritas fundentes para baja temperatura (como el borosilicato de plomo). Aunque indica que se debe ajustar la fórmula al vidrio de base, para que tenga similares punto de fusión y coeficiente de dilatación, sólo menciona que se debe añadir plomo o sílice, para bajar o subir el punto de fusión respectivamente, pero no da descripciones del proceso. Los óxidos que apunta son los siguientes:

- Óxido de cromo: verdes, amarillos, naranjas
- Óxido de cobalto: azules y púrpuras
- Carbonato de cobalto: azules y púrpuras
- Carbonato de cobre: turquesa, verde, rojos
- Óxido de cobre negro: negro
- Clorhidro de oro: rosas y rojos
- Óxido de hierro: marrones, marrones rojizos y negros
- Óxido de manganeso: púrpura, negro
- Nitrato de plata: amarillos, ámbar.

La única proporción que aparece marcada es la de óxido de cobalto: sólo 2%. Hay que señalar de esta lista que el óxido de cobre negro, utilizado en las pruebas de color que he realizado, sólo da negruzco si se usa en muy alta proporción, lo que no es recomendable por el peligro de burbujeo descontrolado; generalmente da azules y turquesas. Respecto al óxido de manganeso, el color conseguido es pardo rojizo y no púrpura.

III.2.3.8. Esmaltes y vidriados: aditivos y proporciones experimentados

Algunos autores recomiendan utilizar una medida volumétrica para modificar los esmaltes y vidriados, en lugar de utilizar una de peso⁹⁸. Sin embargo, otras

⁹⁷ KOHLER, L. (1998): *Glass. An Artist's Medium*. Krause Publications, Iola.

⁹⁸ LUNDSTROM, B. (1991).

fuentes consultadas prefieren utilizar una medida de peso. En las pruebas descritas a continuación se han utilizado medidas de peso.

Como han sido bastantes las pruebas realizadas, expondré detenidamente sólo las relativas al esmalte Degussa azul para demostrar cómo se puede realizar y probar una adaptación mediante aditivos; sin embargo, presentaré resultados y conclusiones de todas las pruebas realizadas.

Vamos a modificar para su uso en vidrio los vidriados Degussa azul, de composición y coeficiente de dilatación desconocidos, y cuyo intervalo de fusión se produce en torno a los 900°C. Por consiguiente, una de las primeras labores será bajar el punto de fusión, lo que se conseguirá añadiendo fundente. En la primera cocción experimental que se hizo, sin aditivos, se demostró que la temperatura alcanzada era insuficiente⁹⁹. Para ello disponemos de bórax ($B_4Na_2O_7$), un fundente alcalino, por tanto es posible que burbujee. También se probará como fundente el borosilicato de plomo.



Según MATTHES (1990), tanto el óxido de cobre como el boro disminuyen la temperatura de fusión, y tienen también un poder fundente. “La adición de 0,1 mol de B_2O_3 baja el punto de fusión generalmente en 30°K”¹⁰⁰. Más adelante, MATTHES dice que al aumentar la proporción de CuO , MnO o B_2O_3 disminuye al mismo tiempo el coeficiente de dilatación¹⁰¹.

El CuO puede favorecer un color azul o verdoso, por lo que puede ser interesante usado en combinación con el Degussa azul celeste para obtener tonos más oscuros. La proporción de CuO no debe ser demasiado grande, porque provocaría un color negro. Se probaron las siguientes proporciones de aditivos:

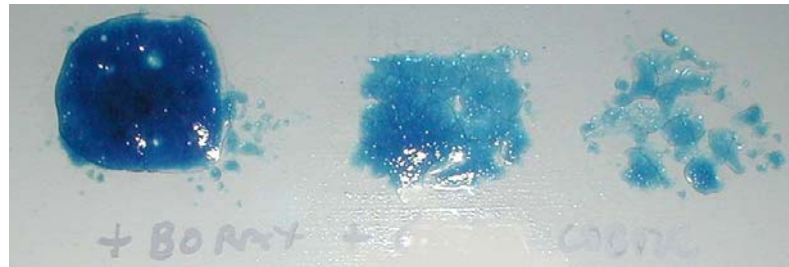
⁹⁹ Ver más arriba epígrafe sobre defectos en la cocción de vidriados, donde aparecen fotografías con defectos de burbujeo y de gota.

¹⁰⁰ MATTHES, W. (1990), p. 52.

¹⁰¹ MATTHES, W. (1990), p. 61.

- **Degussa azul + CuO.** Tras comprobar los resultados en una primera cocción, se optó por añadir más cantidad de CuO, pues no ganaba compatibilidad y burbujeaba igual.

1. Degussa azul + 25% CuO. Se numeran las muestras, de modo que la 1.1 corresponde a un bloque grueso para probar la compatibilidad con el vidrio float de base; la 1.2 es un espolvoreado con tamiz sobre vidrio, y la 1.3 es un espolvoreado con tamiz entre vidrios.



Esta muestra corresponde a una primera muestra mezclando CuO y Bórax en muy pequeñas proporciones con el esmalte Degussa azul.

2. Degussa azul + 10% bórax. Como en el caso anterior, se hace una muestra gruesa (2.1), y otras dos espolvoreadas, una sobre vidrio (2.2) y otra entre vidrios (2.3)
 Degussa azul + 20% bórax. La muestra marcada con 2.4 es gruesa, la 2.5 espolvoreada sobre vidrio.
 Degussa azul + 30% bórax. Se marca como 2.6 la muestra gruesa, y como 2.7 la espolvoreada sobre vidrio.
3. Degussa azul 70%+ bórax 10%+ CuO 20%. Se prueba en capa gruesa (3.1), espolvoreado sobre vidrio (3.2) y espolvoreado entre vidrios (3.3).



4. Mezcla 3 + 10% talco (para añadir sílice). La sílice añadida pretende endurecer el esmalte. Esta prueba se hace para comprobar que las

incompatibilidades que se puedan producir en los casos anteriores, es decir, del 1 al 4, se deben a que el vidriado es demasiado blando. También se realiza en capa gruesa (3.4), tamizada sobre vidrio (3.5) y tamizada entre vidrios.

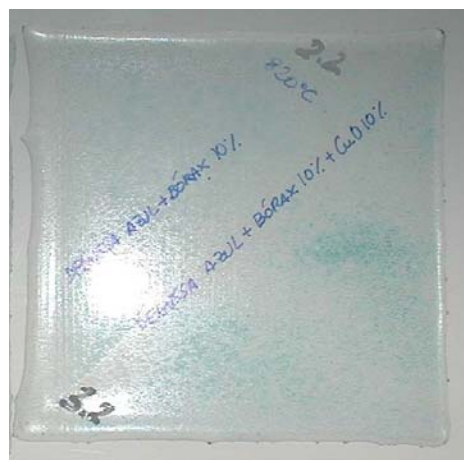
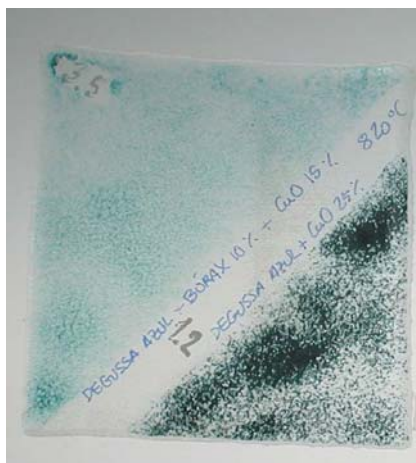
5. Pruebas Degussa azul sin aditivos, espolvoreado sobre vidrio (5.1) y entre vidrios (5.2).



- Muestra con 10% de cobalto, entre vidrios y sobre vidrio
- Muestra con 10% de borosilicato de plomo, entre vidrios y sobre vidrio.

Resultados de la prueba del vidriado Degussa azul:

- Sobre vidrio, sin aditivos, burbujea mucho en capa fina y gruesa. Presenta finísimos craquelados en capa media y fina. También se observan craquelados al mirar desde detrás del vidrio en la capa gruesa (es opaca). Esto nos indica claramente una incompatibilidad en el coeficiente de dilatación.
- Sobre vidrio, al añadir bórax, burbujea, aunque las bolas de aire son más finas. También es opaco, y al mirarlo desde detrás se ven finísimos craquelados en las capas fina, media y gruesa.



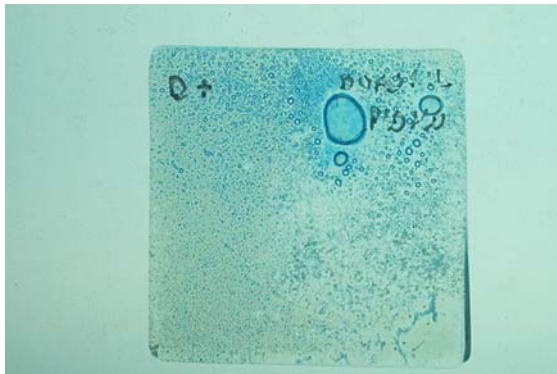
- Sobre vidrio, al añadir bórax y óxido de cobre negro, no hay burbujas y el azul es más oscuro. Es también algo más transparente. En capa gruesa, se

desprende del vidrio, aunque éste no presenta roturas. En capas fina y media está lleno de craquelados.

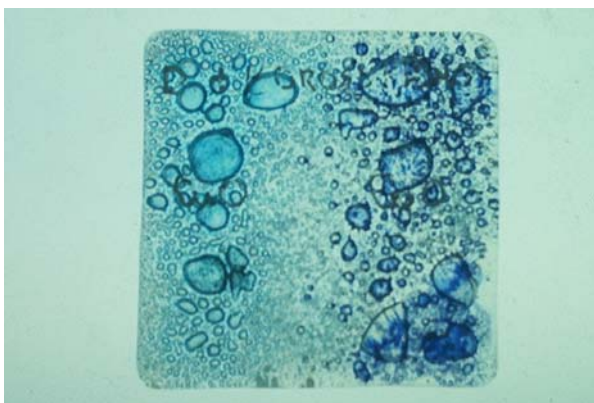
- Entre vidrios, burbujea muchísimo haciendo bolas enormes, que presentan craquelados y burbujas en ambas capas de vidrio.



- Al mezclarlo con borosilicato de plomo los resultados son muy similares a los que se obtuvieron mezclando con bórax. El color azul resultante es muy pálido, y continúan formándose burbujas cuando se trabaja en sándwich.



- La muestra con óxido de cobalto y con óxido de cobre, ambos con borosilicato de plomo, dio mejores resultados, tanto por el color resultante, como por la formación de burbujas más controladas.



III.2.3.9. Posibilidades expresivas de estas técnicas.

Pintura con esmaltes.

- **Los esmaltes**

Según MORTON (1999)¹⁰², los dos principales tipos de pintura para vidrio son los esmaltes y los lustres metálicos. Ambos se aplican de manera similar.

Los lustres son compuestos metálicos que, en el horno, depositan una pequeña cantidad de metal en la superficie del vidrio, volviéndolo iridiscente. El más antiguo parece ser el nitrato de plata, que se vuelve amarillo al cocer.

ELSKUS (1980)¹⁰³, distingue entre dos tipos de colores para vidrio: la pintura para vidrieras o grisallas (opaca y de paleta limitada) y los colores transparentes o esmaltes (más variados, pero de pobre adhesión a la superficie del vidrio). Los primeros se usan para trazar contornos, crear sombras y grafismos. Recomienda los de la casa Reusche, y otros como Hancock y Drakenfeld¹⁰⁴.

Técnicas de aplicación de esmaltes sobre el vidrio.

La denominación “pintar en vidrio”, según KOHLER (1998)¹⁰⁵ suele referirse más a los vitrales y otros procedimientos tradicionales, mientras que “esmaltes sobre vidrio” suele referirse a otras técnicas artísticas.

- **Pintar en vidrio. Técnicas tradicionales**

Las técnicas de pintura sobre vidrio tradicionales se siguen utilizando en el arte en vidrio contemporáneo. Pueden aplicarse a pincel mezclados con un medio basado en aceite o agua. Los de agua son más limpios, puesto que no dejan residuos al quemarse. La consistencia de la mezcla varía de un esmalte a otro, aunque suele usarse una parte de esmalte por dos de medio. Debe dejarse secar antes de hornearlo.

ELSKUS (1980) sugiere los siguientes medios:

- Agua
- Alcohol
- Aceites como los de clavo, anises, lavanda, esencia de trementina, barniz dammar
- Vinagre blanco

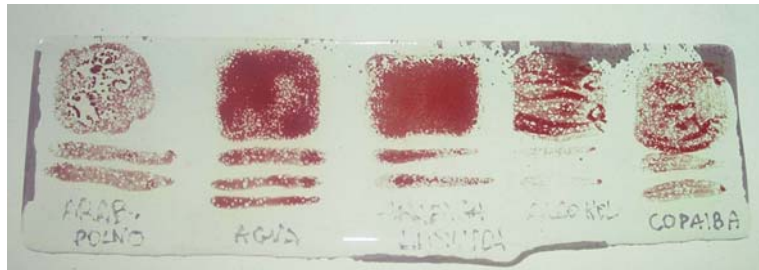
¹⁰² MORTON, J.M. (1999): *Glass. An Inspirational Portfolio*. Watson-Guption Publications, Nueva York, p. 39

¹⁰³ ELSKUS, A. (1980): *The Art of Painting on Glass*. The Glass Press, Pensilvania

¹⁰⁴ No he podido hallar en España ninguna de estas marcas.

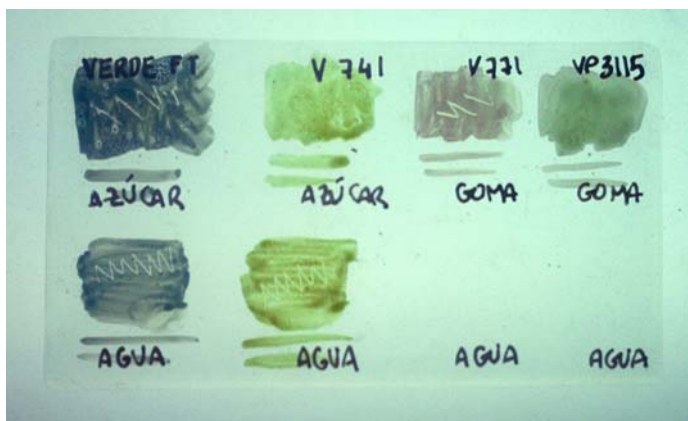
¹⁰⁵ KOHLER, L. (1998): *Glass. An Artist's Medium*. Krause Publications, Iola.

- Glicerina
- Agua con goma arábica en polvo
- Agua con azúcar



Siguiendo a ELSKUS (1980), es preferible utilizar únicamente goma arábica en polvo. El procedimiento a seguir sería este: se extiende sobre una paleta de vidrio una cucharada de esmalte finamente molido, con un grosor de unos 2 mm. Sobre este esmalte se espolvorea goma arábica en polvo, hasta que la cubra como nieve pero que aún se vea el esmalte bajo ella. Se mezclan ambos componentes y se añade agua poco a poco hasta que adquiere la consistencia del yogur líquido. Debe dejarse reposar unos minutos antes de usarla.

Para hallar la proporción de esmalte, goma y agua, el autor propone un método empírico. Si la pintura se extiende sin conservar la forma que se le da, tiene demasiada agua. Si, una vez seca la pincelada, se va al pasar los dedos, tiene poca goma arábica. Si no se va la pintura, incluso rascando con la uña, tiene demasiada goma.



Algunas muestras de pruebas con diferentes esmaltes y agentes. En el de arriba se utilizó goma arábica adquirida en estado líquido; abajo la goma arábica se usó en polvo (1ª izquierda) y en líquido (central), obteniéndose mejores resultados de la mezcla líquida, en contra de lo que se esperaba.

Si se quiere poner varias capas de color superpuestas, encontraremos el problema de que una capa diluye a la anterior. Esto será inevitable si la capa inferior no lleva algún tipo de aglutinante (azúcar, goma) sino sólo agua. Si se ha utilizado una disolución de goma arábica, existen varios procedimientos:

- Cocer entre capa y capa. El resultado es de calidad pero caro. También MORTON (1999) sugiere que cuando se pintan sobre vidrio motivos muy complejos, se pueden aplicar los esmaltes en varias cocciones sucesivas, para conseguir diversos efectos. Si se trabaja capa sobre

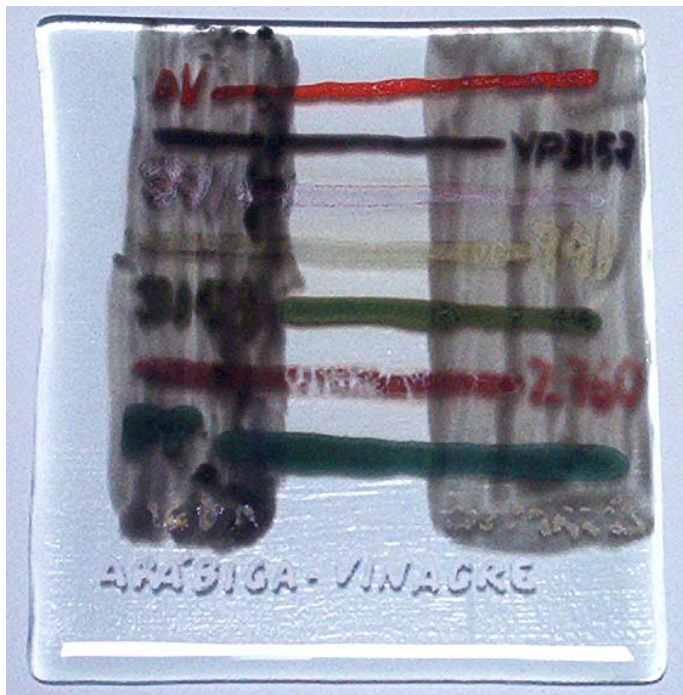
capa, cociendo entre una y otra, se consiguen mejores resultados que si se trabaja en una sola cocción.

- Mezclar la segunda capa con un agente que repela el agua, si se usó abajo goma arábica, como la trementina o el alcohol.

(Derecha, arriba) Una prueba realizada con distintos esmaltes como base. Estos esmaltes están mezclados con agua y goma arábica. Sobre ellos se ha extendido esmalte gris disuelto en aguarrás y bálsamo de copaiba.



(Derecha, abajo). En esta prueba, se han utilizado como diluentes de los esmaltes de color agua y aguarrás. Sobre ellos se ha extendido esmalte gris disuelto en goma arábica y vinagre.



RESULTADOS: Cuando el aguarrás se utiliza como diluyente en la capa superior, arrastra el color. Si la capa de abajo estaba solo disuelta con agua, el color es arrastrado parcialmente por la pincelada de la capa superior.

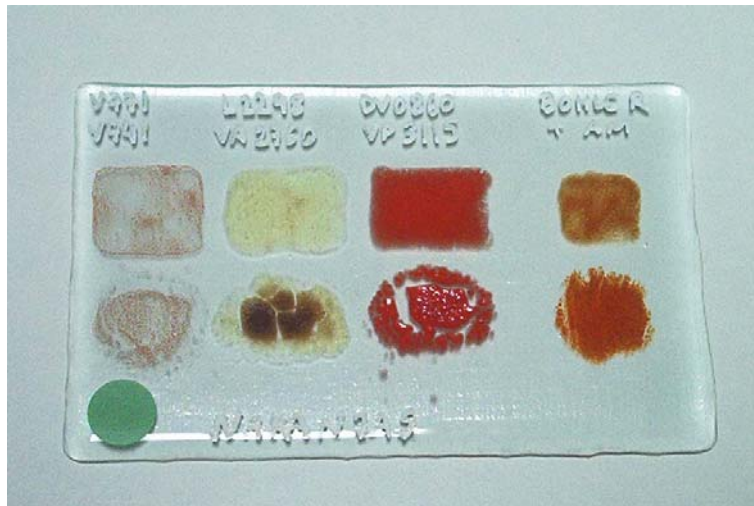
La capa superior es más uniforme y tiene mejor acabado cuando se disuelve en bálsamo de copaiba.

En otras pruebas comprobé que el alcohol también da buenos resultados en la capa superior, aunque la textura de acabado no es tan buena como la de la copaiba.

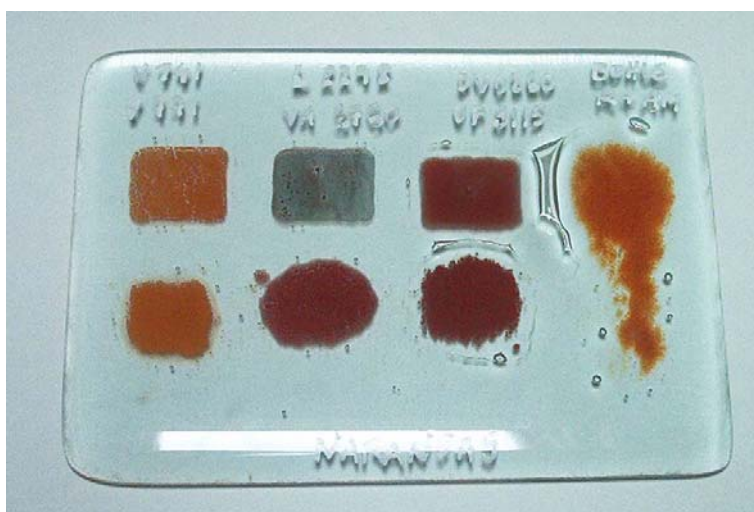
Un interesante sustituto del agua azucarada son las bebidas gaseosas¹⁰⁶ del tipo Seven Up. Para hacer los colores más opacos se añade pigmento blanco; para hacerlos más transparentes, se añade fundente.

¹⁰⁶ WALKER, B. (2000): *Contemporary Warm Glass*. Four Corners International, Clemmonds, cap. 18.

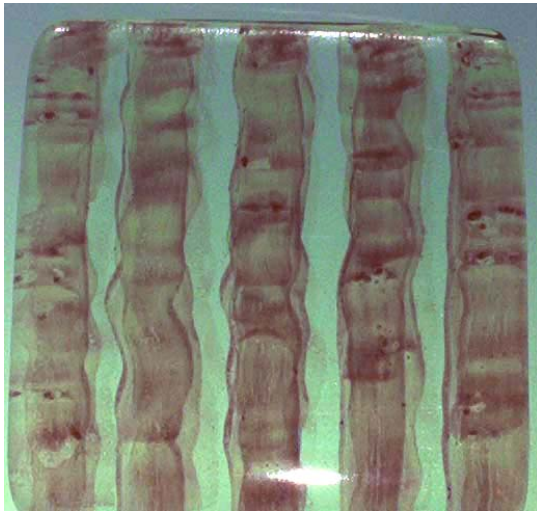
El uso de determinados diluentes influye también en los resultados de las mezclas de colores. Aunque ya se habló de este asunto, incidiré una vez más. Como ejemplo, conseguir un tono naranja mezclando rojo y amarillo no es tan fácil; ya se comentó que los óxidos componentes de algunos colores reaccionan químicamente entre sí con resultados inesperados. También los aglutinantes utilizados, o el hecho de estar sobre el vidrio o entre vidrios influye en los resultados obtenidos.



(Izquierda, arriba) Una muestra de mezclas diferentes de rojos y amarillos para obtener naranja, puestos en superficie y disueltos con goma arábica líquida (fila de arriba) y en polvo (fila de abajo). Los colores Degussa para decoración de vidrio desaparecen prácticamente, pues son para baja temperatura. Los colores L2298 (Maquimetal) junto con VA2760 (Reflejos C.) reaccionan a marrón-bronce. Los colores DV0860 y VP3115 (Reflejos C.) resultan en un bermellón opaco, que mezclado con arábica en polvo se funde mal. Por último, los dos colores de fritas Bohle rojo y amarillo dan un bronce anaranjado.

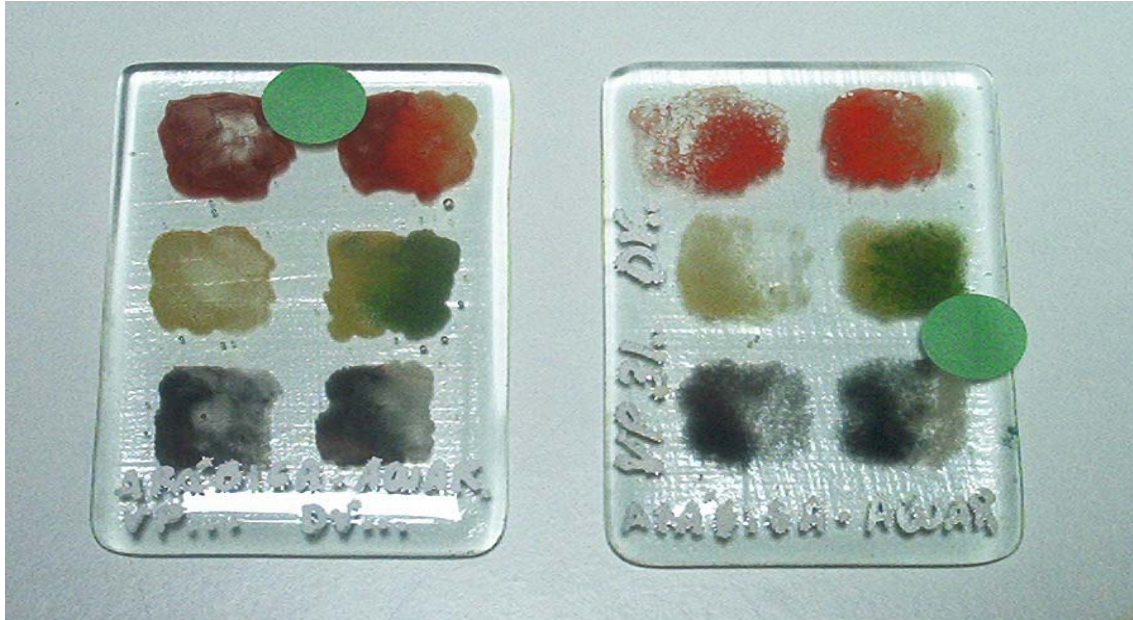


(Izquierda, abajo) Las mismas mezclas en sándwich dan distintos resultados: los dos esmaltes Degussa para vidrio dan un buen naranja, aunque opaco en vez de desaparecer; las otras mezclas dan colores rojos oscuros; los colores L2298 (Maquimetal) y VA2760 (Reflejos C.), reaccionan a negruzco; el bermellón brillante de la mezcla de DV0860 y VP3115 (Reflejos C.), dan ahora un rojo oscuro opaco, y los dos colores de fritas Bohle, dan un tono entre rojo cereza y bronce anaranjado, con buena transparencia.



Esta prueba está hecha superponiendo varias láminas de vidrio float de Cristalería Española de 3mm de grosor; en cada una de estas láminas se pintaron líneas rojas utilizando el esmalte para tercer fuego DV0860 de Reflejos Cerámicos disuelto en agua, sin aglutinantes. Como puede verse en la fotografía, el efecto tridimensional conseguido es interesante. Sin embargo, algunos esmaltes cambian de color entre vidrios, como en este caso, en el que los colores quedaron muy desvaídos y algo pardos excepto en la superficie de la primera lámina.

Algunos efectos interesantes que se pueden conseguir pintando no son tan sencillos de lograr con los esmaltes de los que he dispuesto para estas pruebas (decoración de vidrio de baja temperatura, tercer fuego para cerámica, decoración de vidrio float), como los degradados o los efectos de acuarela, más transparentes a medida que se diluyen más. Cuando el esmalte escasea, el resultado después de la cocción no es bueno, y algunos de los esmaltes experimentados van bien sobre vidrio, pero no en sándwich y viceversa.



Dos pruebas realizadas con esmaltes, diluyendo más o menos con goma arábiga para conseguir efectos semejantes a los de acuarela. La de la derecha está realizada en sándwich, con resultados bastante buenos. Sobre vidrios se pierde algo de saturación, y se modifica la textura. Estas pruebas se hicieron con esmaltes para tercer fuego de Reflejos Cerámicos. En otras pruebas realizadas con los esmaltes de la gama FT de Maquimetal (esmaltes para vidrio float) se obtuvieron buenos resultados también en sándwich, y malos sobre vidrio (necesitan mucha cantidad de esmalte para obtener buen resultado), excepto con el color verde que no llega a fundirse bien entre vidrios.

Algunos artistas utilizan en sus pinturas sobre vidrio “técnicas de revés”. Comienzan por los detalles que se verán a través del vidrio, y terminan por los colores más lejanos. Así, la superficie es más clara y brillante.

En algunos casos, puede hacerse termoformado y esmaltado al mismo tiempo, siempre la temperatura de maduración de los esmaltes sea adecuada al intervalo de termoformado¹⁰⁷.



Kerttu Nurminen. *Camaleón Cauteloso*, 1995. En el esmaltado de esta pieza se han buscado efectos de gradación de transparencias y grafismos. Es un ejemplo de técnica tradicional utilizada en nuestros días.

Tanto si se esmalta siguiendo procedimientos tradicionales, como otros más actuales, puede mezclarse el esmalte con elementos como arenas, hilo de cobre, etc, para crear texturas.



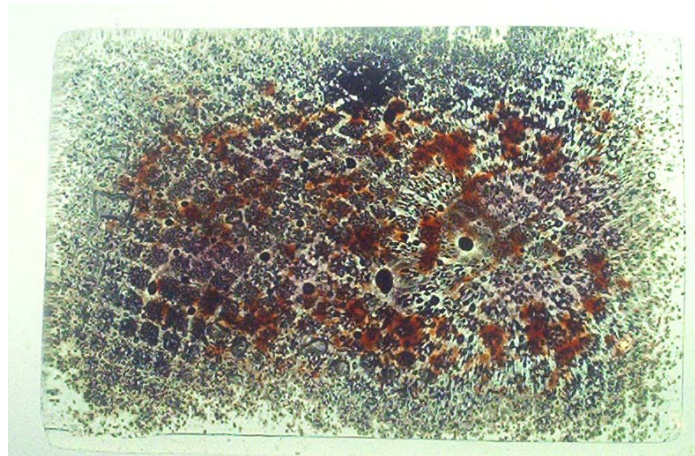
Kouichi Matsufuji. *I'm dreaming*. 1995. Se trata de un trabajo de esmaltado sobre una superficie volumétrica, posiblemente pintado siguiendo un procedimiento de “técnica de revés”.

¹⁰⁷ WALKER, B. (2000), op. Cit.

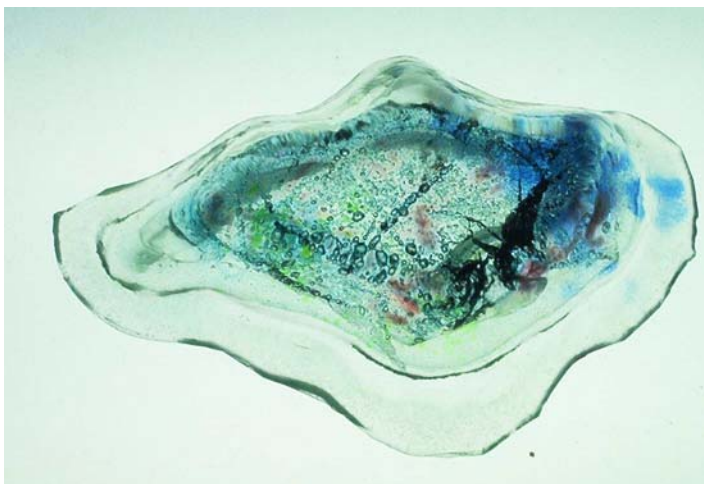
• Espolvoreado

Según este procedimiento, los esmaltes se aplican en seco con un tamiz. También pueden ponerse con mucho cuidado sobre la superficie del vidrio utilizando una cucharilla. Se puede trabajar con plantillas y máscaras superpuestas al vidrio, de manera que se protejan del esmalte determinadas zonas para crear así diseños o texturas. Cuando se realiza este procedimiento, hay que usar mascarilla para no inhalar esmalte.

Dos muestras de texturas conseguidas interponiendo entre el vidrio y el tamiz una redecilla. En ambos casos, está en sándwich y no en superficie. En la imagen de abajo, la textura está en último término; en la de la derecha, en primer término. Este tipo de superposiciones de planos ayuda a crear la ilusión de un volumen interior.



Tal vez el procedimiento de tamizar esmaltes sobre una superficie sea uno de los más interesantes para la escultura, ya que se pueden crear zonas de color con contornos poco definidos. De este modo, los colores y los volúmenes internos del vidrio no entran en contradicción con los volúmenes externos, es decir, es más fácil conseguir coherencia entre la dimensión transparente e interna del objeto creado y la forma exterior del mismo.



Esta obra experimental ha sido realizada combinando los esmaltes con inclusiones de pan de plata falsa (ver p. 323). Los esmaltes se distribuyeron utilizando un tamiz. Se utilizó un molde al mismo tiempo que se horneaban los esmaltes, de manera que se consiguió en una sola cocción el volumen interno y el externo.

Por otra parte, el procedimiento espolvoreado se produce en seco. Esto supone una ventaja adicional cuando se quiere hacer una escultura gruesa por superposición de varias láminas de vidrio, ya que deberemos atrapar los esmaltes a modo de sándwich entre ellas. Cuando ponemos los esmaltes con pincel, corremos el riesgo de contaminar los colores resultantes, ya que aglutinantes como el azúcar o la goma arábica utilizados con los esmaltes dejan trazas al quemarse, sobre todo si lo hacen entre dos vidrios.



Esta prueba se ha realizado intercalando entre dos láminas de vidrio esmaltes pintados con diferentes aglutinantes. El resultado es tonos internos sucios y algo opacos. Se pierde parte de la transparencia.



Esta obra experimental se ha realizado con esmaltes de distintos tipos, tamizados en seco, y algunas inclusiones (ver capítulo siguiente). El velo turbio que tenían las piezas de sándwich esmaltadas a pincel ha desaparecido

La dificultad más importante que presenta este modo de disponer los esmaltes es el tamaño de grano de éstos. Si están demasiado molidos, pasan con dificultad a través de la malla del tamiz, embotándolo, y caen sobre el vidrio pesadamente formando grumos. Este problema es más patente con los esmaltes opacos. El problema se soluciona en parte si se mezcla el esmalte demasiado molido con otro de grano ligeramente más grueso; de este modo se cuela mejor a través de la malla del tamiz.

- **Texturas y grafismos**

Pueden crearse de varios modos. Uno de ellos consiste en poner una capa uniforme de esmalte sobre la superficie del vidrio, usando un medio adecuado. Una vez seco, y antes de cocer, pueden hacerse esgrafiados, rallar, etc.

Otra posibilidad es incidir y rallar la superficie del vidrio y crear incisiones y líneas que luego se llenan con esmalte, para después cocerse.¹⁰⁸

También se pueden utilizar técnicas de aplicación de esmaltes que crean texturas, utilizando esponjas, papeles arrugados, y otros procedimientos pictóricos. En este caso, lógicamente, es preferible que el esmalte esté disuelto en un medio apropiado.

Serigrafía¹⁰⁹

Utilizando esmaltes vítreos en vez de las tradicionales pinturas para grabado, se puede realizar esta técnica sobre vidrio. Una vez se ha construido la pantalla, se puede crear el patron:

- Con pincel, usando un líquido para bloquear ciertas partes de la pantalla
- Con material comercial, un film que puede cortarse de la manera deseada.
- Con un sistema de fotoserigrafía, usando un film de medios tonos para separar la imagen fotográfica.

Los colores deben secarse y hornearse uno a uno. Para hornear varios a un tiempo se requiere un complejo equipamiento.

Otras técnicas fotográficas y de impresión

Sobre vidrio pueden usarse otros procedimientos siempre que los esmaltes empleados sean especiales para vidrio, para que tras la cocción la imagen sea permanente.

¹⁰⁸ HALEM, H. (1996): *Glass Notes. A Reference for the Glass Artist*. Franklin Mills Press, Kent.

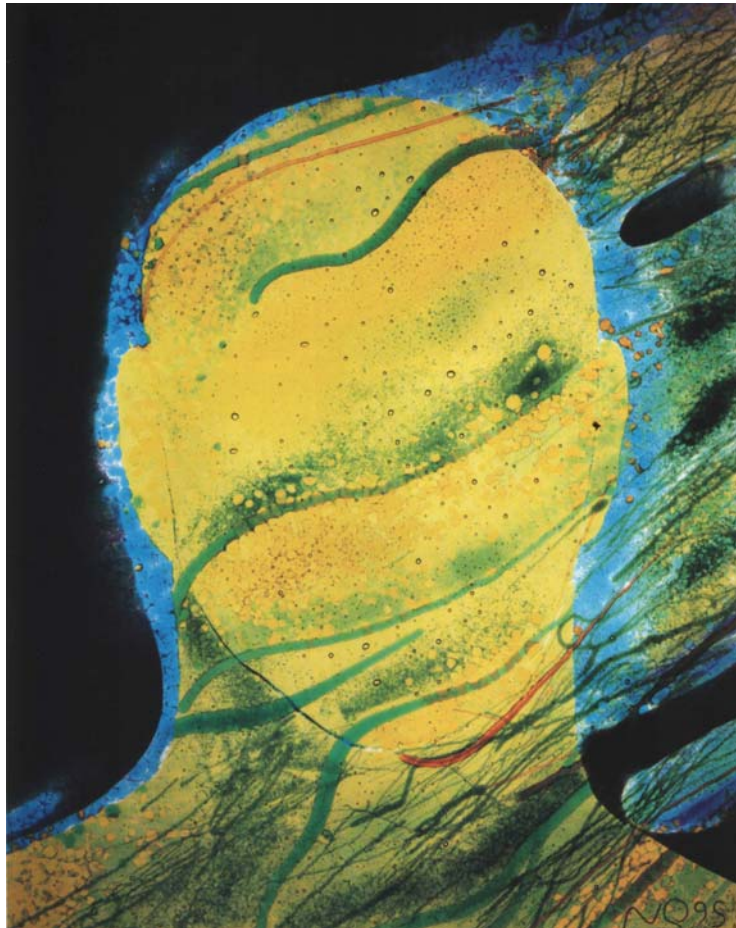
¹⁰⁹ WALKER, B. (2000), op. Cit

Frit Painting o pintura de luz

Algunos de los procedimientos de trabajo artístico con fritas se han descrito ya al hablar de las incompatibilidades, los defectos y cambios de color de estos materiales.

Es una técnica que une el uso de diversos procedimientos y materiales para la vitrofusión, como vidrios planos coloreados compatibles, fritas, esmaltes, varillas o stringers... Estas piezas se distribuyen sobre una lámina de vidrio transparente y se funden para obtener pinturas. Esta técnica es compleja, y requiere conocer muy bien el mundo del vidrio. Es necesario hacer muchas hornadas con la misma pieza antes de llegar a conseguir el efecto deseado.

Pueden ponerse fritas de colores sobre vidrio plano extendiéndolas según el diseño deseado, o colocarse directamente sobre papel cerámico. Junto con varillas, láminas y esmaltes, pueden ponerse en sándwich entre vidrio transparente antes de fundir.¹¹⁰



Narcissus Quagliata, *Desconocido en el mar*, 1995.
Pintura de luz con vidrio fundido

¹¹⁰ MORTON, J.M. (1999): *Glass. An Inspirational Portfolio*. Watson-Guipill Publications, Nueva York

- **Creación de volúmenes internos.**

Utilizando fritas y esmaltes entre varias capas de vidrio es posible crear sensaciones de profundidad y volumen interno. Este asunto se aborda en el epígrafe III.2.4.4 *Inclusiones inorgánicas. Materias vítreas y esmaltes*, p. 300.



En esta pieza se han utilizado varias técnicas: pintado con esmalte, en varias láminas de vidrio superpuestas, e inclusiones de pan de oro, pan de plata falso y fibra de vidrio. Con esta superposición se consigue un efecto de profundidad o volumen interno.

III.2.3.10. Técnicas adaptadas de otros ámbitos.

Sobrecubierta metálicos y lustres.

Algunos autores engloban bajo la denominación de lustres los acabados metálicos (oro coloidal, platino coloidal) y los lustres; sin embargo, y dado que difieren en algunas de sus características de aplicación y cocción, he preferido mantener la separación que entre ambos tipos de productos establecen los ceramistas.

Acabados metálicos. Oro coloidal.

El acabado metálico con el que yo he experimentado es el oro coloidal. Se trata de un oro líquido en suspensión en una sustancia disolvente. He probado dos productos: uno de la empresa Engenhard, Hanovia Glass Gold nº A3753, y otro vendido y fabricado por Coronado¹¹¹. Ambos son específicos para vidrio.

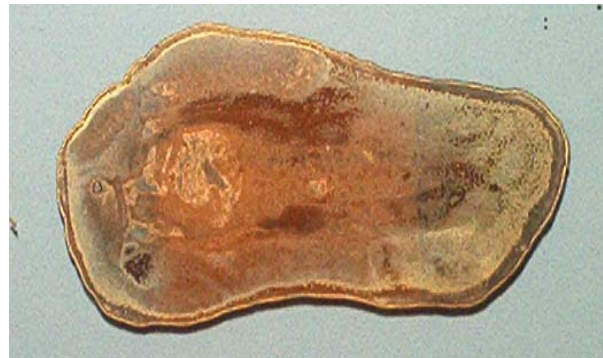
El aspecto del oro antes de cocerlo es el de un líquido espeso, traslúcido y brillante de color marrón rojizo. Al aplicar oro coloidal hay que comenzar por la prevención: es muy tóxico por inhalación. Es necesario utilizar una mascarilla adecuada (filtro para gases) y ventilar bien el espacio de trabajo.

¹¹¹ Droguería especializada en productos artísticos, Calle Santa Engracia, nº 158, Madrid.

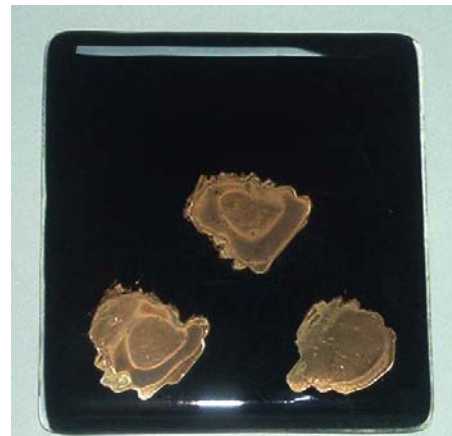
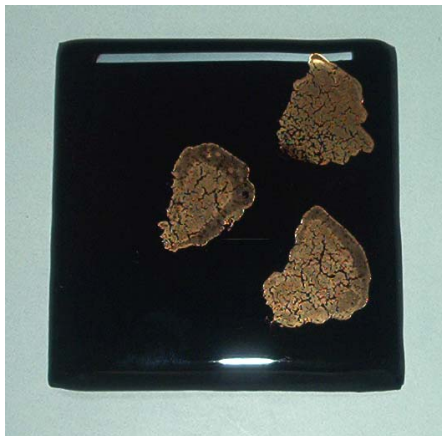
Es difícil conseguir un buen acabado con el oro coloidal. Suele depender de varios factores:

- La forma de aplicarlo. Suelen extenderse en el vidrio utilizando un pincel, que debe estar muy limpio y utilizarse sólo para ese tipo de metal concreto. El trazo debe ser uniforme y hay que pintar de manera que no se forme realce. Las pinceladas suelen quedarse marcadas en el vidrio, y se notan como “aguas” o zonas más o menos nítidas después de cocer; en ocasiones es un efecto interesante. También puede utilizarse un pulverizador, una esponja o un aplicador especial para oro, con un depósito y una pequeña boquilla. Puede aplicarse incluso con los dedos¹¹², aunque deben tenerse precauciones debido a la toxicidad del producto.

Oro coloidal una vez cocido. Las aguas y marcas se deben a los trazos del pincel, y a la diferencia de grosor de la capa de vidrio entre unas zonas y otras.



- La cantidad de capas del producto aplicadas. Yo he comprobado que una sola capa del producto muy espesa ofrece resultados aceptables, aunque es más ortodoxo aplicar tres capas algo diluidas¹¹³, dejando unos minutos de intervalo entre cada una de ellas para que se sequen. Cada vez que se aplica una nueva capa, se remueve la que está debajo, pero la ventaja es que se puede utilizar una solución menos pegajosa y que fluya mejor con el pincel que cuando se aplica todo el oro en una sola capa.



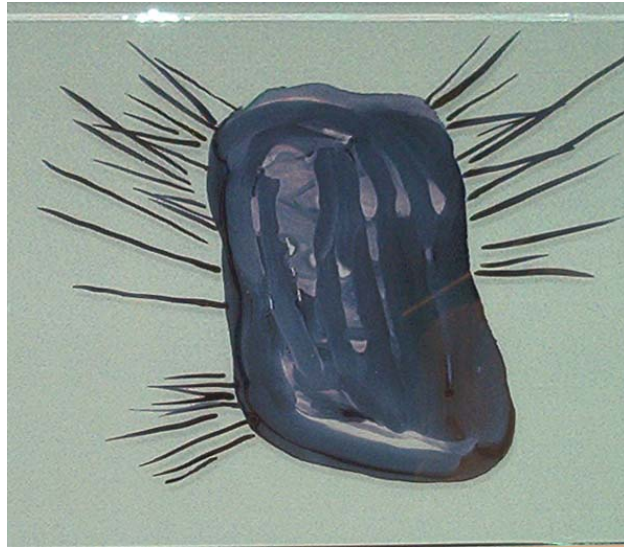
Estas dos pruebas están realizadas con oro coloidal sobre vidrio opal negro. A la izquierda, el oro tiene dos capas; el resultado es dorado, pero craquelado. A la derecha, tiene tres capas y no se ha craquelado. El dorado es más intenso.

¹¹² Así recomienda hacerlo el autor del libro VV.AA.: *Manual del ceramista. Técnicas de la decoración* (1998), p. 67, aunque, después de leer las recomendaciones impresas en el frasco de diluyente, no lo considero una costumbre saludable.

¹¹³ LUNDSTROM, B. (1991), p. 66.

- La proporción de diluyente utilizada. Los metales coloidales tienen un diluyente específico, diferente al usado para lustres, y es necesario adquirir práctica para saber qué cantidad de diluyente debemos añadir para que sea lo bastante fluido y pueda aplicarse con facilidad, pero no quede demasiado pobre. Si está demasiado diluido, he comprobado que adopta un color rojizo o incluso azulado en el vidrio muy alejado del reflejo metálico oro esperado. Además, al lavarlo, se desprende del vidrio. La limpieza del vidrio y de la zona de trabajo. Cualquier huella de grasa sobre el vidrio, o cualquier mota de polvo que caiga sobre el metal mientras se seca crea marcas que aparecen después de la cocción.

Este vidrio se ha horneado a 650°C. El oro que se aplicó estaba muy disuelto. El resultado son unas pinceladas azuladas en vez de el tono oro esperado. Cuando se lavó el vidrio después de sacarlo del horno, se quitó completamente la parte central, más diluida.



- El color del vidrio de base. Cuando se utiliza un oro muy diluido sobre vidrio transparente, sólo se aprecian tonos que van del rojizo al azulado. Un oro igualmente diluido sobre vidrio opal oscuro se ve con mucha más nitidez.

Se ha disuelto oro coloidal y se ha extendido sobre este vidrio, que tiene una parte negra opal y otra blanca transparente. Sobre la zona negra se aprecia mejor el tono dorado; en la zona blanca, parece rojizo.



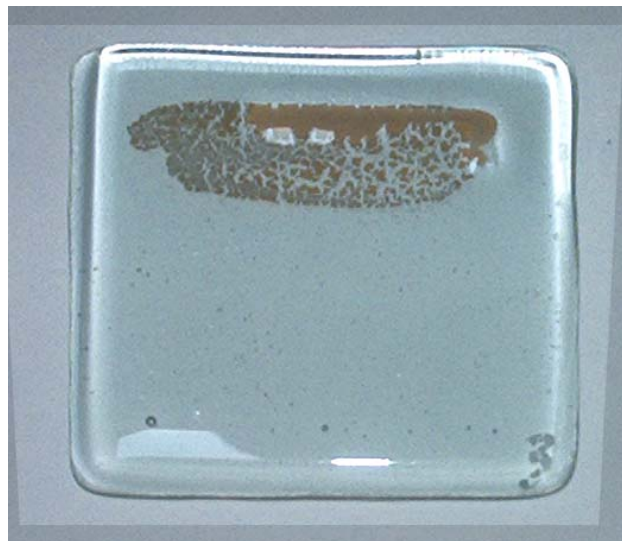
Antes de hornearlos, deben estar totalmente secos. MOORMAN (1990) recomienda esperar al menos una hora antes de hornearlos¹¹⁴.

¹¹⁴ MOORMAN (1990), p. 93.

Los metales pueden usarse en sándwich o en superficie. En el caso de utilizarlos en sándwich, es necesario hornearlos previamente hasta la temperatura de 650° C. De lo contrario, el medio en el que están disueltos formaría una espesa mancha negra al quemarse, y el resultado no se parecería nada a lo esperado. Al ponerlo en sándwich, el oro pierde parte de su brillo metálico.

El oro puede cocerse entre los 650° y los 750°C, pero se obtienen también buenos resultados a temperaturas más elevadas (las temperaturas de fusión) y en segundas cocciones. Al cocerlo, es imprescindible mantener el horno con la ventilación abierta hasta alcanzar al menos los 700°C, ya que los humos desprendidos por los metales pueden afectar al color y al brillo conseguidos.

En esta prueba se ha horneado oro coloidal, y después se ha cubierto con una lámina de vidrio y se ha vuelto a hornear. El resultado es un oro craquelado, que en las zonas donde está más espeso, parece levantado sobre una burbuja. Ha perdido su brillo de espejo.



Las posibilidades expresivas que ofrece este material son interesantes, porque se puede mezclar con esmaltes y fritas; para ello, es necesario cocerlo previamente. Pueden ponerse los colores directamente sobre el oro cocido o sobre un vidrio transparente colocado sobre éste.

Al calentarse hasta la temperatura de fusión, el vidrio se dilata más que la lámina de oro. No se provocarán tensiones puesto que el grosor del oro es mínimo, pero éste se craquelará provocando un efecto interesante. También surgen craquelados cuando se termoforma el vidrio, o cuando se funden sobre el oro gruesos pedazos de vidrio que modifican la horizontalidad de la superficie del vidrio sobre la que se apoya.

El efecto espejo creado por el oro es también un interesante elemento expresivo; sin embargo, se pierde cuando se funde el vidrio por encima de los 700°C al causar el craquelado del oro.

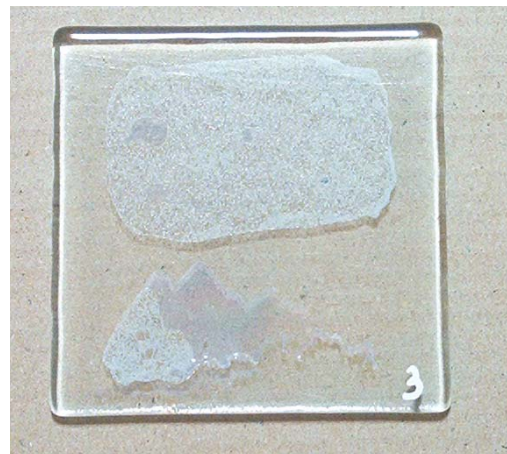
Los lustres. Lustre madreperla.

Los lustres provienen del medio cerámico. En este ámbito, la técnica del lustre consiste en un tratamiento decorativo que se aplica sobre una superficie

vidriada a la que proporciona un aspecto metálico o iridiscente¹¹⁵. Se trata de una técnica antigua, ya utilizada por los ceramistas de Siria y Egipto, que aplicaban óxidos de plata o cobre sobre un vidriado ya cocido, sometiéndolo después a una atmósfera reductora. Hoy se comercializan lustres metálicos y de otros tipos disueltos que, aplicados sobre un vidriado, no precisan atmósferas reductoras. Puesto que son tratamientos encima del vidriado (sobrecubierta o de tercer fuego), pueden aplicarse también a la superficie del vidrio para producir acabados metalizados, iridiscentes o nacarados. Si dejamos aparte el oro coloidal o lustre de oro, que sí tiene una larga tradición en el mundo del vidrio, el origen de estos lustres es el ámbito cerámico; por esta razón, es difícil conseguir productos especialmente formulados para vidrio. En las pruebas realizadas he utilizado un lustre madreperla de la empresa Ceramichrome, formulado para cerámica.

El lustre madreperla es un líquido pardo transparente, tóxico por inhalación igual que el oro coloidal. Todas las recomendaciones dadas más arriba para extender el oro coloidal (tipo de pincel, limpieza del vidrio y de la zona, diluyente específico), sirven para el lustre madreperla, a excepción de la cantidad de sustancia depositada sobre el vidrio. Si con el oro coloidal era necesario poner una capa gruesa, con el lustre madreperla debe ser justo al contrario: la capa debe ser fina. Una capa gruesa forma ampollas y escamas cuando se cuece.

A la derecha puede verse una prueba realizada con lustre madreperla. Arriba se puso una cantidad espesa, sin diluir, formando varias capas. El resultado tras la cocción no fue bueno: se escamó y descascarilló. Sin embargo, abajo se usó una capa más fina, diluida, con mejores resultados.



Los resultados irisados dependen del color del vidrio de fondo. Sobre vidrio transparente es menos patente el efecto nacarado; se aprecia mejor sobre vidrios de color o vidrios opales.

El aspecto también es mejor si se aplica lustre, se cuece y se vuelve a aplicar y cocer varias veces¹¹⁶.

La temperatura de cocción de estos productos varía entre los 650°C y los 750°C; es preferible una cocción más larga a una temperatura más baja¹¹⁷. Igual que los metales coloidales, debe ser ventilado durante la cocción.

¹¹⁵ VV.AA. (1998): *Manual del ceramista. Técnicas de la decoración*. P. 19.

¹¹⁶ MOORMAN, S. (1990), p. 93.

¹¹⁷ LUNDSTROM, B. (1991), p. 67.

Barras de pastel cerámico.

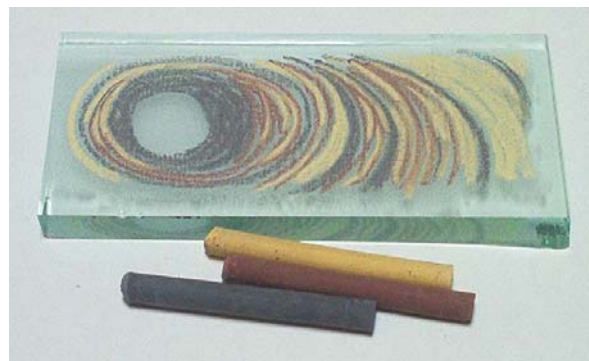
Estas barras tienen el aspecto de las tizas o pasteles para dibujo, pero están formadas por sustancias cerámicas como caolín y esmaltes. En cerámica, suelen utilizarse sobre barro bizcochado o sobre barniz no cocido.

El problema de adaptar estas barras cerámicas para su uso con vidrio consiste en conseguir que los trazos se marquen en una superficie perfectamente pulida y nada porosa. Hice pruebas pintando directamente sobre el vidrio, sin buenos resultados; mojando las barras con agua, mejoraba algo el trazo, pero al cocer seguía siendo demasiado claro debido a la poca cantidad de pigmento que se sujetaba sobre el vidrio.

Sobre una lámina de vidrio normal, pulida, se intentó pintar con barras cerámicas, y el resultado fue bastante pobre después de cocer.



Cuando el vidrio se lija para hacer la superficie más rugosa, los efectos mejoran, y se pueden hacer trazos con las tizas secas o mojadas sobre la superficie, dejando unos trazos bastante nítidos.



El vidrio se lijó con ayuda de una minitaladrodora, y se pudo pintar sobre él con las barras sin problemas.



La misma prueba, una vez cocida. Los grafismos se conservan, pero la textura del vidrio se ha mateado, no ha recuperado totalmente su brillo a pesar de la temperatura alcanzada.

Después de cocer, los trazos conservan su calidad “seca” de pastel, pero quedan fijados al vidrio. Puede utilizarse esta técnica sobre vidrio y en sándwich, pero en este último caso es necesario prehornear para cocer los esmaltes, y el resultado no es tan bueno como cuando están en superficie, pues se forma una capa de aire en la textura de los grafismos que impide apreciarlos correctamente.

Detalle de una prueba decorada con grafismos de barra, y cubierta por otro vidrio. Pueden apreciarse las burbujas que cubren la textura del grafismo.



Vidrio grabado y esmaltado

Un método para producir contornos nítidos en el vidrio usando esmaltes consiste en tallar la superficie del vidrio haciendo en ella líneas y zonas huecas, y posteriormente rellenarla con esmaltes. Esta técnica está basada en el trabajo tradicional con esmaltes llamado campeado o *champlevé*¹¹⁸, en la que el esmalte se echa sobre un hueco practicado en el metal y se ponen sucesivas capas hasta que alcanza la altura del metal que lo rodea.

Para crear los grabados he utilizado una minitaladradora con brocas de diamante o carborundo; las primeras sirven para crear líneas finas y definir contornos, mientras que las segundas son útiles para zonas más amplias.

¹¹⁸ MC. GRATH, J. (1995), p. 54

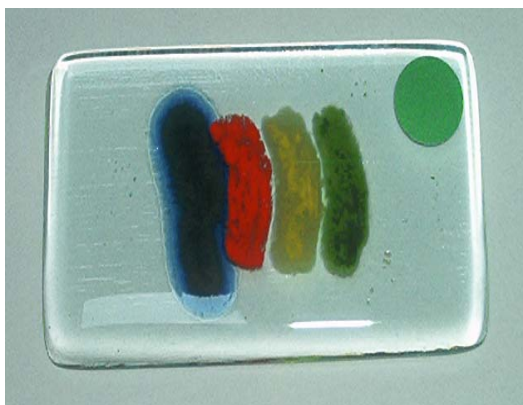
En las pruebas que he hecho, he logrado distintos resultados en función del grosor y la profundidad de las marcas creadas en el vidrio, y del modo de introducir el esmalte en los huecos.

Cuando las líneas son finas, el resultado es una línea sutil y apenas perceptible, que conserva completamente su definición a condición de fundirla bajo un vidrio transparente.

La prueba de la derecha está hecha grabando líneas finas con una broca de diamante, y frotando después con esmalte negro sobre ellas, de modo que impregne los huecos. Después se ha cocido con un vidrio encima.

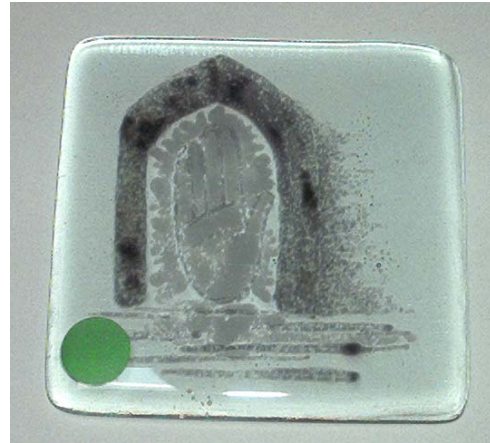
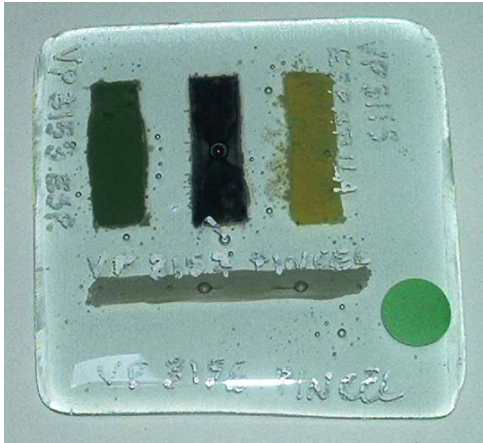


Si lo que se han creado son zonas grandes, se pueden llenar los huecos con esmaltes. La forma también se mantiene mejor si se cuece bajo vidrio.



La prueba de la derecha está cocida con un vidrio encima; de ese modo las formas grabadas y rellenas de esmalte se conservan más nítidas. En la de la izquierda, sin embargo, la parte grabada y esmaltada está en superficie.

Los resultados también varían si el esmalte se extiende con pincel, o se “encaja” en los huecos en seco, con ayuda de una espátula. En el primer caso, hay más riesgo de burbujas, y es necesario esperar bastante tiempo antes de hornear para que esté bien seco.



En la prueba de la izquierda, el tono gris horizontal se ha extendido con pincel, y al cocer ha creado burbujas; los colores verticales se colocaron prensándolos en seco con una espátula. A la derecha, se puso el color sobre el grabado con un pincel, pero se dejó que secase perfectamente antes de colocar otro vidrio encima y hornear. No se crearon burbujas.

III.2.4. VOLUMEN INTERNO EN EL VIDRIO.

Experimentación con diversos elementos incluidos en la masa vítrea.

Una de las particularidades más llamativas del vidrio es su transparencia. Esta cualidad permite jugar con el volumen escultórico de una manera especial: no sólo existe un volumen externo y táctil del objeto de vidrio, referido a su forma externa, sino que se puede crear un volumen interno y visual no directamente accesible al tacto, mediante formas incluidas dentro de la masa de vidrio.

Para que pueda producirse ese volumen interno con las técnicas de fusión de las que nos estamos ocupando, deben darse determinadas condiciones materiales: es necesario que existan diferentes capas de vidrio, y en ellas o entre ellas deben incluirse distintos elementos o materias constituyendo diversas formas. Estas formas están a distintas profundidades y cada una de ellas actúa como elemento de referencia espacial para las otras.

Las causas físico-químicas de lo que hemos llamado volumen interno podemos hallarlas en los efectos ópticos de la refringencia. El vidrio tiene distinta densidad que el aire, por esa razón, cuando un rayo de luz lo atraviesa cambia su velocidad y como consecuencia su dirección. De este modo, la sensación de tamaño y profundidad puede ser mayor que en la realidad.

El volumen interno del que nos ocuparemos en este capítulo puede conseguirse mediante distintas técnicas de trabajo. Las más importantes son las que permiten encerrar un elemento en el interior de una masa de vidrio. Entre las inclusiones habría que englobar el trabajo con esmaltes y fritas (de las cuestiones más importantes respecto a estas técnicas ya me he ocupado en el capítulo anterior, aunque en éste haré referencia a sus efectos de volumen), las materias no vítreas y las burbujas de aire. Los efectos ópticos y las texturas logradas mediante relieve, ya sea utilizando moldes (en cuyo caso los volúmenes están bajo la obra, si tomamos como referencia la posición de horneado) o técnicas de fusión en relieve (quedando, en este caso, los volúmenes en la parte superior de la obra), y las técnicas de mosaico, también contribuyen a la percepción de ese volumen interno; sin embargo, implican la modificación de la forma externa de la obra, mientras que en el caso de las inclusiones ésta puede permanecer inalterada.

Por supuesto, también se consiguen efectos de volumen con los termoformados escultóricos, pero ese volumen no es interno, sino externo.

III.2.4.1. Inclusiones

Se da este nombre a un trabajo con vidrio fundido consistente en incluir dentro de la masa de vidrio diversas materias no vítreas. Este término lo he tomado de tres fuentes distintas. Por una parte, en el ámbito científico se considera la *inclusión* como un defecto de la fabricación del vidrio; así, FERNÁNDEZ NAVARRO clasifica entre los defectos de fabricación de vidrio producidos en la masa o fusión las *inclusiones cristalinas*, *inclusiones vítreas* e *inclusiones gaseosas*¹¹⁹. Como definición de las primeras, podemos leer que “*las inclusiones sólidas que aparecen en el vidrio reciben la denominación general de piedras o defectos de vitrificación, cualquiera que sea su procedencia. Esta denominación se refiere tanto a las sustancias que no han llegado a ser digeridas por el vidrio fundido, bien se traten de restos infundidos de la mezcla, de impurezas contenidas en la misma o de gránulos de material refractario, como a las especies cristalinas segregadas por desvitrificación local del propio vidrio*”¹²⁰. En el ámbito científico, por tanto, se identifica claramente inclusión con defecto.

Por otra parte, tradicionalmente se ha dado el nombre de *inclusión* a unas técnicas de trabajo artesanal de vidrio muy concretas. Se clasifica a menudo en esta categoría a los *millefiori*¹²¹, y a la inserción en una bola de cristal de piezas multicolores modeladas con pinzas: pétalos, frutas, lagartos, etc., que suelen llamarse “*pisapapeles*”.



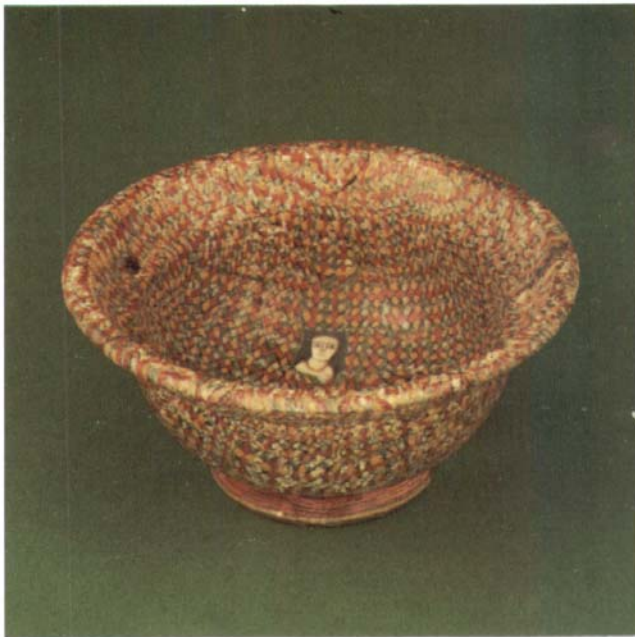
Pisapapeles según la modalidad Saint Louis, con inclusiones y facetado.

¹¹⁹ FERNÁNDEZ NAVARRO, J.M. (1991): *El vidrio*. Editado por el CSIC y la Fundación Centro Nacional del Vidrio, La Granja de San Ildefonso. Pags. 259-312.

¹²⁰ *Ibíd.*, p.263.

¹²¹ En el diccionario de ESCÁRZAGA, A. (1994): *Porcelana, cerámica y cristal*, Ediciones Antiquaria, Madrid, p.158 encontramos la siguiente definición para “Millefiori”:

“Con este nombre italiano, mil flores, se conoce el esquema decorativo que se consigue mediante el siguiente proceso: se funden cañas de vidrio de colores diferentes. Estas cañas se cortan en secciones formando varios discos. Por último, los discos de vidrio de colores diferentes se funden juntos (lado a lado) consiguiendo así una superficie semejante a un lecho de pequeñas flores. Este método fue aprendido por los romanos del Imperio en el siglo primero y redescubierto por los venecianos de Murano a finales del siglo V (...)”.

497 *Patella cup*

Cuenco realizado mediante la fusión de pequeños discos de vidrio opal de colores, llamados murrinas. Roma, s. I. Museo de Portland.

Un antecedente tradicional de las inclusiones es el de los medallones, retratos, temas alegóricos o religiosos en tierra refractaria e incrustados en vidrio. Los anticuarios suelen llamar sulfuros a estas incrustaciones porque, en contacto con el cristal, el camafeo de porcelana fina adquiere un aspecto plateado que recuerda el sulfuro de plata¹²². En un molde tallado en madera, y después fundido en hierro, el artesano vertía la composición de pasta cerámica, la cocía y después la enfriaba lentamente. Tras calentar al rojo el camafeo, lo centraba sobre una base de vidrio viscoso a la misma temperatura, y lo recubría con una porción de vidrio a la medida, ya que la tierra refractaria soporta sin deformación un calor que sólo ablanda al vidrio. Es un procedimiento caro debido al alto porcentaje de roturas.

El único texto donde he hallado la palabra *inclusión*, haciendo referencia directa a las materias vítreas o no vítreas encerradas en una masa de vidrio, ha sido el manual *Warm Glass*¹²³, si bien el uso de este término con esta acepción es corriente en la actualidad en cualquier foro de vidrio contemporáneo. Sin embargo, parece que no tiene mucha difusión entre los estudiosos de la historia del vidrio artístico, tal vez porque este procedimiento de trabajo se ha utilizado sobre todo a partir de mediados del siglo XX¹²⁴.

¹²² GATEAU, C.H. (1980): *El vidrio*. Ediciones R. Torres, Barcelona, p. 64.

¹²³ Consultado en su versión virtual en la página de internet, también disponible en papel e incluido en la bibliografía de esta tesis, BRADLEY WALKER, M. (2000): *Warm Glass*. Four Corners International, Clemmonds

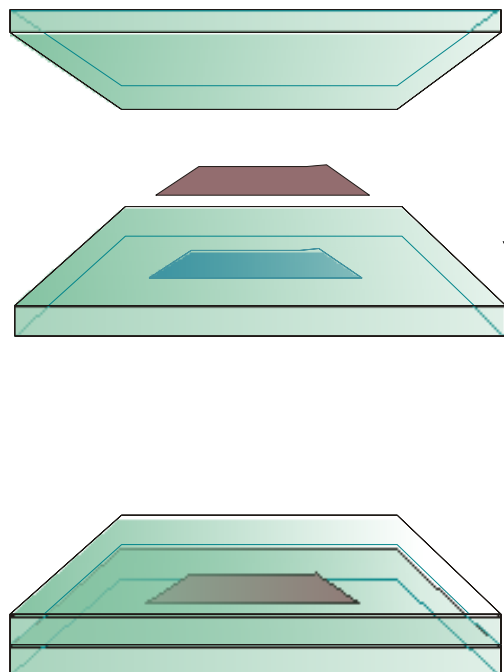
¹²⁴ Este término, inclusión, no aparece como entrada en el diccionario de ESCÁRZAGA, A. (1994): *Porcelana, cerámica y cristal*, anteriormente citado, aunque se menciona que entre los tipos de pisapapeles antiguos, algunos llevan inclusiones con forma de reptil o mariposa.

Por tanto, consideraré inclusión a la introducción de *cualquier* materia vítrea o no vítrea encerrada en una masa de vidrio. Esto puede conseguirse principalmente de dos modos: trabajando el vidrio fundido en masa, sacándolo de un crisol, o trabajando con las técnicas de fusión en horno cerámico o en horno de fusión como las que he descrito a lo largo de esta parte de mi tesis. De este segundo procedimiento me ocuparé a continuación.

III.2.4.2. Experimentación con inclusiones.

La mayor parte de los datos sobre inclusiones los he obtenido empíricamente, pues como mencioné más arriba no hay mucha información al respecto. Para realizar la experimentación, he trabajado con vidrio plano del tipo *float* de Cristalería Española de 3mm. de grosor. El procedimiento es sencillo: se cortan piezas cuadradas o rectangulares de vidrio y se encierra dentro, en un sándwich, el material que es objeto de estudio. Después se introduce en el horno y se cuece según una curva de temperatura apropiada, que permita que las dos piezas de vidrio lleguen a *fusión total*. De este modo, el material queda encerrado dentro del vidrio.

El esquema podría ser el siguiente:



Conviene marcar la pieza de vidrio antes de cocerla con algún material resistente al calor, indicando la materia que hay dentro, pues tras la cocción puede ser irreconocible.

No es posible encerrar cualquier materia dentro del vidrio. Durante la experimentación de una nueva materia para inclusiones, podremos aventurar algunos de los problemas que se plantearán, aunque no en todos los casos.

También nos encontraremos con materias cuyo comportamiento junto con el vidrio no podamos prever: de ahí la importancia de los hallazgos empíricos en estos procedimientos de inclusión. Entre las dificultades previsibles que surgirán al mezclar el vidrio con otros materiales señalaré las siguientes:

1. Las que se deben a la naturaleza físico-química del vidrio. La primera de ellas es el coeficiente de dilatación. Como ya se ha mencionado varias veces, el vidrio tiene un comportamiento específico en su *dilatación y contracción*: si está adherido a un material que no se dilate o se contraiga en la misma medida y a la misma velocidad, se producirán roturas. Los materiales que incluyamos en el vidrio deberán ser compatibles respecto a su coeficiente de dilatación, o ser lo bastante *plásticos* como para que la incompatibilidad no produzca roturas.
2. Otra de las dificultades relacionada tanto con las características físico-químicas del vidrio como con el procedimiento artístico de fusión es la temperatura que el vidrio necesita para llegar a fusión total, que podemos situar en 815° C. Algunos materiales metálicos funden a más baja temperatura, por lo que su comportamiento al incluirlos en la masa vítrea puede ser inesperado. Otros materiales de naturaleza orgánica se calcinan totalmente y desaparecen o dejan apenas un rastro de ceniza.
3. Por último, y también debido a la técnica de fusión adoptada, se producirán burbujas incontroladas con gases procedentes de la combustión de las materias orgánicas o de la presencia de óxidos en los metales. También aparecerán burbujas de aire incontroladas, si el material es grueso o está constituido por pequeños fragmentos que atrapen aire (por ejemplo, las arenas). Estas burbujas quedan atrapadas entre las dos láminas de cristal al fundirse éstas.

Tipos de inclusiones experimentadas.

Las clasificaré en dos grandes grupos: orgánicas e inorgánicas. Entre las primeras se incluyen las que tienen una procedencia animal o vegetal, aunque sea lejana: huesos, plumas, astillas de madera, tejidos, papel... Entre las segundas han resultado especialmente interesantes las metálicas, aunque también he experimentado con fibras cerámicas y de vidrio, arenas, etc.

III.2.4.3. Inclusiones orgánicas.

El principal problema que acarrearán estas inclusiones es la combustión: algunas sustancias desprenden gases al quemarse, que quedan atrapados dentro de la pieza de vidrio. Estos gases suelen dar un tono negruzco, que llega a opacificar totalmente el vidrio. En otras ocasiones, la materia experimentada se consume tanto que no deja rastro alguno, apenas una huella o unas cenizas.



Estas dos pruebas se han hecho con arpillera. En la de arriba, la arpillera se impregnó de esmalte cerámico de color azul disuelto en agua y, una vez seca, se puso entre dos láminas de vidrio. La de abajo es arpillera simplemente. En la imagen de arriba puede apreciarse cómo los gases de la combustión han creado una gran burbuja en el centro de la pieza, en la que han quedado marcadas unas líneas que se corresponden con la trama de la tela. En la de abajo, que se colocó de manera que parte de la tela quedara fuera del vidrio, los gases pudieron escapar, y se produjo una zona negra totalmente opaca, rodeada de cenizas que muestran los rastros de la tela.

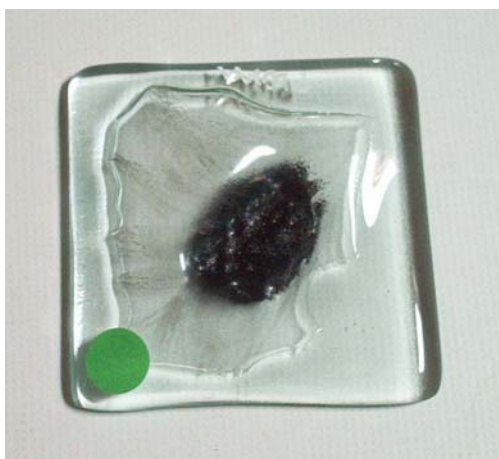
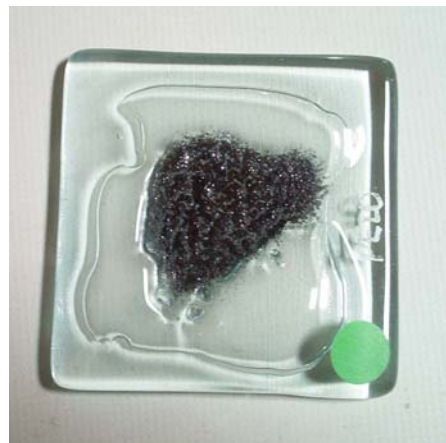




(Izquierda) La muestra de arriba corresponde a una astilla de madera; como se aprecia en la fotografía, apenas deja una pequeña huella y algo de ceniza. Los gases de la combustión quizá han podido evacuarse, puesto que la burbuja atrapada es transparente. Abajo a la izquierda vemos una prueba con papel, en la que se aprecia también una ligera huella de cenizas. Como en el caso anterior, tampoco se ha atrapado humo negro.

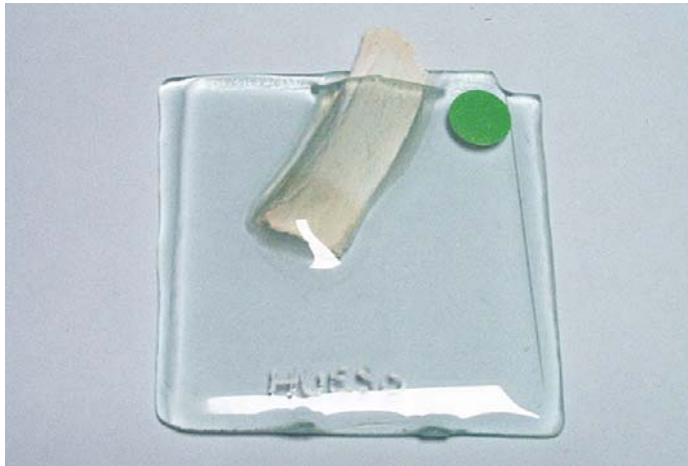


(Derecha) Esta prueba contiene pelo humano encerrado en sándwich entre dos láminas de vidrio. El pelo no sólo deja un color opaco negro, sino que también presenta una textura rugosa característica. Alrededor de la materia orgánica quemada hay una gran burbuja de gas transparente.



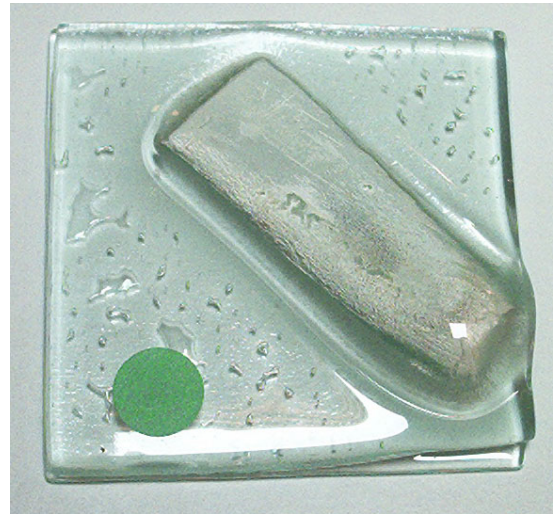
(Izquierda) Para esta prueba se utilizó una pluma de oca; al calcinarse deja unos trazos finos y delicados alrededor de un centro negro opaco. Como en el caso anterior, también hay una burbuja de gas alrededor de la materia calcinada.

Algunas materias, como huesos o espinas de pescado, pueden dar buen resultado en inclusión siempre que se sequen antes de su utilización durante varias semanas, y que se prevea una forma de evacuar los gases que sin duda se producirán.



El hueso se colocó a propósito fuera del perímetro de las láminas de vidrio, para que se permitiese la evacuación de gases. En esta fotografía, aún está dentro de las láminas de vidrio, pero de hecho está totalmente calcinado, y se convierte en polvo con facilidad, por lo que podría extraerse, quedando sólo su huella como una burbuja de aire.

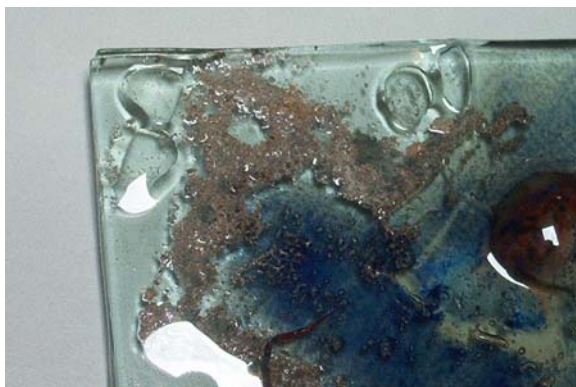
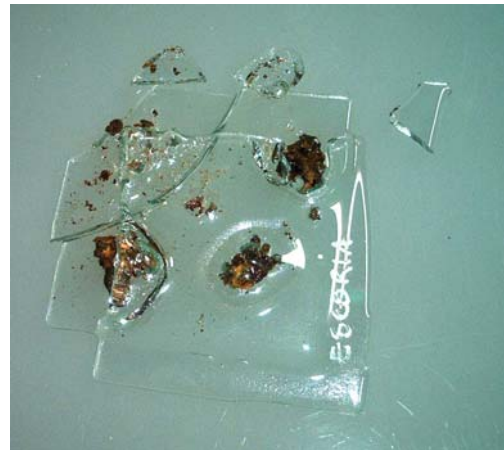
Otra posibilidad es la doble cocción; consiste en hacer una primera horneada poniendo un vidrio sobre el hueso, espina, etc., de modo que la materia orgánica se queme, desprendiendo los gases propios de la combustión; al mismo tiempo, el vidrio que está sobre ella se termoforma. Ese vidrio termoformado junto con los restos orgánicos (hay que tener cuidado puesto que se han convertido en cenizas y son muy frágiles) se hornean nuevamente sobre otro vidrio. De este modo la materia orgánica queda encerrada sin riesgos de burbujas. En la experimentación, han dado buenos resultados las segundas horneadas de huesos y espinas de pescado, que tienen una gran cantidad de calcio; sin embargo, otras sustancias se convierten en cenizas demasiado frágiles, prácticamente imposibles de conservar tras la primera cocción, como sucede con papel, arpillera o astillas de madera.



(Arriba, izquierda) Estas tres pruebas se han realizado mediante una doble cocción de hueso, espina de pescado y cabeza de gamba respectivamente. Las tres materias se habían dejado secar durante varias semanas antes de utilizarse.

En algunos casos las tensiones producidas entre el vidrio y el material incluido son tan grandes que se producen roturas en el vidrio. Estas roturas sólo aparecen al deshornar en casos extremos; en otras ocasiones son impredecibles y pueden surgir en cualquier momento.

Inclusión de escoria
procedente de quemar
carbón. La fotografía de
arriba se tomó nada más
sacar la muestra del
horno. Aunque las
tensiones eran fuertes,
no se aprecian aún
roturas. Sin embargo, un
año más tarde, la
muestra estaba
totalmente rota.



(Izquierda) Fragmento
de una obra con
diversos elementos,
como frita azul en
polvo, hilo de cobre,
vidrio transparente
molido.

Quiero destacar las
inclusiones en color
gris, realizadas
poniendo ceniza de
quemar madera entre
dos vidrios. Esta
materia ya quemada no
plantea problemas de
burbujas, pero mantiene
su aspecto seco y
polvoriento.

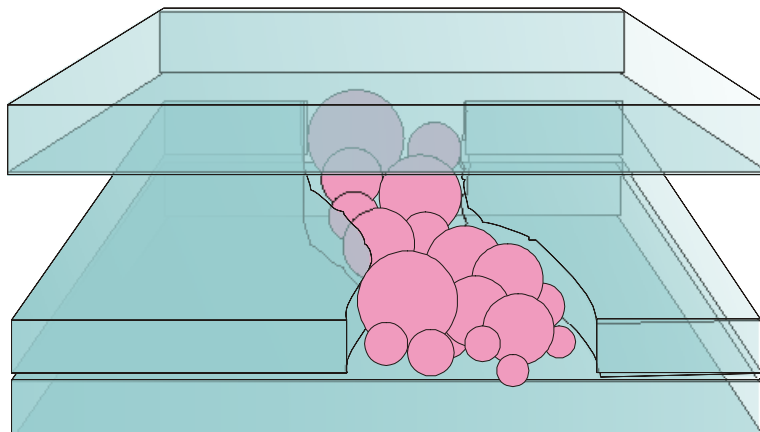
III.2.4.4. Inclusiones inorgánicas.

Esta cuestión la he experimentado con materiales que he agrupado como sigue: vítreos, metálicos, arenas, refractarios.

Materias vítreas y esmaltes.

Dentro de este grupo incluiré las fritas y el polvo de vidrio de color, y también los esmaltes y otros materiales vitrificables. Las cuestiones más importantes que hay que tener en cuenta respecto a estos materiales se mencionaron en el capítulo anterior; sin embargo mencionaré aquí otras cuestiones relevantes respecto al volumen interno, la compatibilidad, las posibilidades expresivas, etc.

Los efectos de profundidad que pueden lograrse utilizando una combinación de capas de vidrio transparente y de fritas gruesas es enorme. Es necesario, sin embargo, prever la formación de bolsas de aire poniendo una lámina de vidrio transparente del mismo grosor que las fritas enmarcando a éstas. De este modo creamos formas recortadas y nítidas en el interior de la capa de vidrio, como muestra el gráfico que sigue:

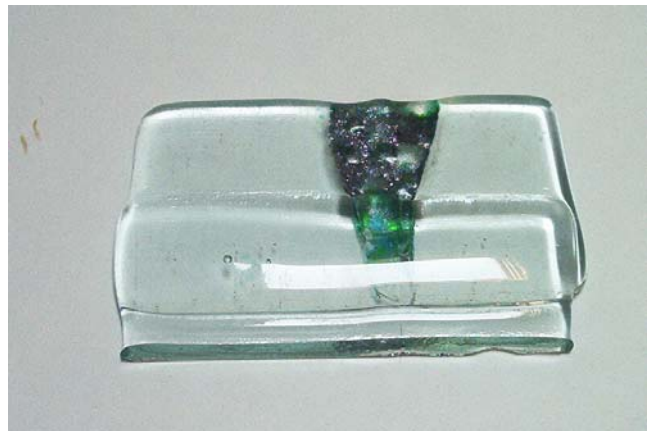


De no hacerlo así, nos arriesgaríamos a crear grandes burbujas alrededor de las fritas. Existe otro procedimiento para evitar las bolsas de aire; consiste en hacer una cocción previa de las fritas sobre el vidrio de base; hay que elevar la temperatura hasta la fusión total (la fusión en relieve o el termocollage no evitarían la oclusión de aire, puesto que la forma de las fritas se mantendría). Sin embargo, para la creación de volumen interno este procedimiento no es muy adecuado, pues las formas creadas con las fritas pierden nitidez. Por otra parte, es más costoso en tiempo y electricidad.



(Izquierda) Esta prueba está realizada mediante el procedimiento de una sola cocción, rodeando las fritas (en este caso de la casa Bohle, amarillas y rojas de granulometría 1, las más oscuras son violeta de granulometría 3; además, en el centro de la zona de color hay vidrio transparente molido). El efecto que se produce es el de una zona de vidrio encerrada bajo una capa transparente; puede apreciarse su grosor.

(Derecha) En este caso, se rodeó con vidrio transparente una forma creada con fritas verdes y azules mezcladas con mica verde. El efecto es muy distinto si están en superficie (arriba) o bajo un vidrio (abajo). Nótese la nitidez de la forma creada.

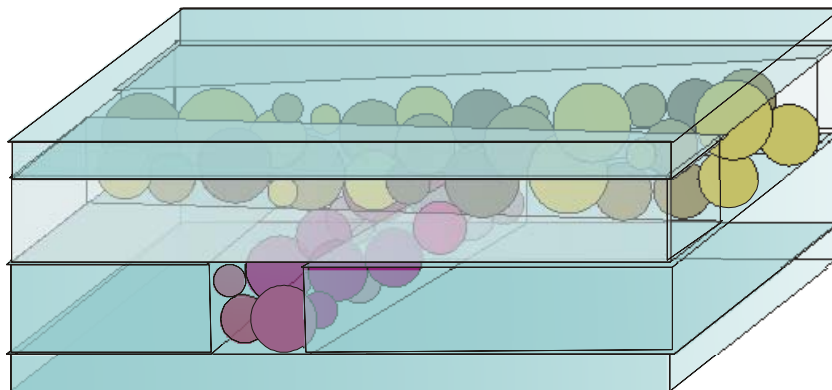


(Izquierda) Esta prueba está formada por un sándwich de tres vidrios con un grosor de 3mm cada uno. Los vidrios de la capa intermedia se han cortado creando la forma de una línea gruesa, que después se ha llenado con fritas y vidrio molido transparente. Para acentuar la sensación de profundidad, se ha puesto en la superficie del vidrio esmalte rojo (esmalte para tercer fuego –overglass- de cerámica).

Factores que favorecen la percepción de profundidad cuando usamos fritas y esmaltes.

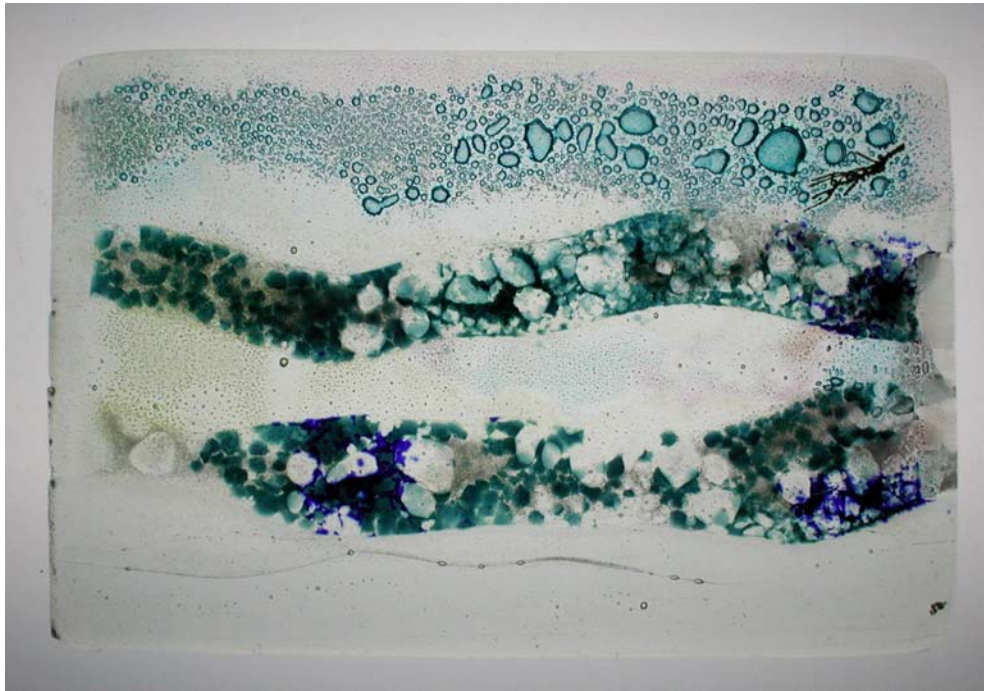
La experimentación me ha permitido concluir que son principalmente tres las formas de trabajo que aumentan la sensación de profundidad y de volumen interno de las obras.

- Varias capas superpuestas. Cuantas más láminas de vidrio tenga la obra, mayores posibilidades habrá de introducir formas a diferentes niveles; ya he mencionado que cada forma sirve como punto de referencia espacial para las demás. Por otra parte, no hay que olvidar que la superficie de la pieza en sí misma constituye una capa, y puede ser trabajada de muy diversas formas.



- Nitidez de las formas. Cuando se recortan y delimitan con vidrio transparente las zonas en las que se pondrán fritas de color o polvo de vidrio, es más fácil percibir el grosor de éstas, y también se favorece la percepción de varias formas superpuestas en distintas capas de vidrio. Cuando se trabaja con fritas gruesas, como se mencionó más arriba, es necesario rodearlas con vidrio transparente del mismo grosor, lo que facilita la delimitación de formas; sin embargo, esta nitidez no es tan fácil de conseguir cuando trabajamos con vidrio de color molido o esmaltes entre dos vidrios, sobre todo si queremos espolvorearlo para evitar la formación de marcas (pinceladas, residuos de los medios, etc.). En este caso puede ser útil la utilización de plantillas de cartón que protejan ciertas zonas del vidrio transparente actuando como reservas.

Si lo que se desea es crear sensación de profundidad sin delimitar las formas, las burbujas que la mayoría de los esmaltes producen al cocerse entre vidrios sirven también como elementos de referencia espacial cuando están en diferentes capas de vidrio.



En esta obra se han combinado formas nítidas, recortando vidrios transparentes alrededor de las zonas de fritas verdes y azules mezcladas con vidrio molido transparente, y formas difusas, creadas mediante una mezcla de vidriado azul Degussa, bórax y óxido de cobre negro.

- Grosor de las capas de vidrio. El volumen interno parece mayor cuando las láminas de vidrio del interior del sándwich son más gruesas que las del exterior, o cuando se alternan en el interior del sándwich láminas finas y gruesas.

Procedimientos en el trabajo con fritas.

Las fritas se presentan en granillas de varios grosores. Las que he utilizado para las distintas pruebas son fritas de varios colores de la marca Bohle, en tres tamaños: gruesa, media y polvo.

El uso de fritas de color permite muchas posibilidades expresivas: crear mezclas de color, superposiciones, líneas y manchas que se funden en una imagen... Se pueden conseguir manchas difusas utilizando únicamente fritas sobre una base de vidrio plano, pero si se desean manchas de color bien definidas conviene cortar en vidrio transparente las formas en negativo, es decir, dejando huecas las zonas donde se vayan a depositar las granillas.

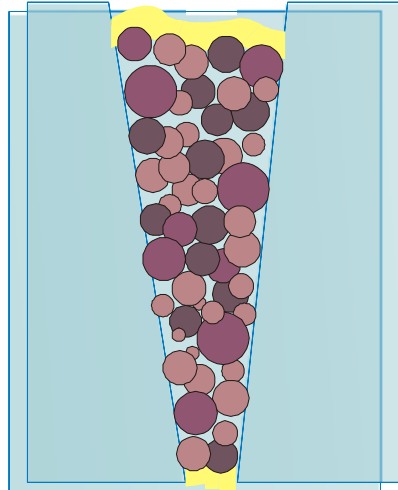
El procedimiento básico de trabajo con las fritas consiste en utilizar como base un vidrio transparente, que actuará como soporte y tendrá el contorno y el

tamaño que queramos dar a la obra. Sobre él se ponen las láminas de vidrio que delimitan las formas de las manchas de color que haremos mediante granillas. Para facilitar el trabajo, se pueden poner en el perímetro del vidrio base tiras del mismo vidrio transparente, que impidan que los elementos que creamos con las fritas se caigan mientras manipulamos la obra, o al meterla en el horno. Estas tiras de vidrio pueden fijarse con algún pegamento que no deje residuos al quemarse. Se puede utilizar goma arábica, aunque dejan menos residuos las colas blancas sintéticas. En mis pruebas, he comprobado que la cola blanca de uso escolar en pequeñas cantidades no presenta complicaciones. Existen colas especiales, como la cola de fundidor, que no dejan ningún residuo.



Las dos fotografías anteriores muestran una obra antes y después de ser horneada. En la primera fotografía se aprecian las tiras de vidrio transparente que, a modo de barrera, se han colocado para evitar que las fritas se caigan.

Cuando las fritas llegan hasta el contorno externo de la obra hay que buscar el modo de que no escapen por el hueco que queda entre los vidrios. El método más utilizado es poner una barrera de pegamento en los extremos antes de espolvorear las fritas, para que éstas se adhieran.



Este esquema muestra una obra preparada con fritas, vista desde arriba (faltaría una lámina de vidrio que las taparía). Hay una lámina de vidrio de base, y, sobre ésta, dos más estrechas que limitan y definen el espacio destinado a las fritas. El pegamento (representado en color amarillo) se pone en los extremos por donde las fritas pueden escaparse.

Se pueden obtener muchos efectos interesantes utilizando fritas en granillas y polvo, como los siguientes¹²⁵:

- Combinar diferentes colores y grosores de fritas para crear grafismos, gradaciones, sfumattos, contrastes.
- Poner granillas gruesas de vidrio transparente blanco sobre láminas de vidrio coloreado (no debe ser opal, ni grueso); al fundirse crearán zonas más transparentes, actuando de un modo similar al agua en los dibujos con acuarela.
- Espolvorear fritas finas y medias sobre un vidrio y trazar grafismos con el dedo.
- Hacer varias placas separadamente y fundirlas después juntas para conseguir superposiciones y efectos de profundidad.
- Calentar el horno hasta fusión total, o dejarlo con cierta textura.

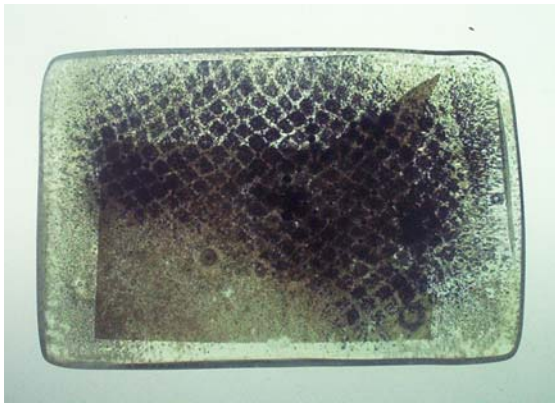
El modo de disponer las granillas o el polvo sobre la obra influye en la expresividad del resultado final, ya que no es lo mismo espolvorear, aplicar con cuchara, con pinzas...

Procedimientos en el trabajo con esmaltes

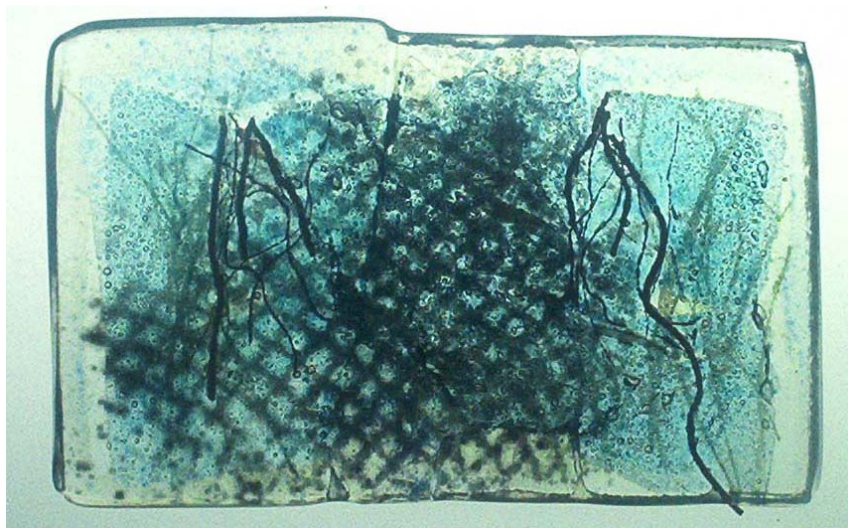
Además de los ya descritos en el capítulo anterior, mencionaré aquí dos que considero especialmente relevantes para crear la ilusión de profundidad, y por tanto más relacionados con el volumen interno del vidrio.

¹²⁵ Narcissus Quagliata, curso *Pintura de luz*, en el CNV, septiembre 1996.

El primero de ellos es el uso de plantillas, especialmente las que tienen forma de rejilla y crean texturas de trama, que pueden superponerse entre sí o a otras inclusiones a distintos niveles en una misma obra. En el trabajo con estas plantillas resultan muy útiles algunas mallas de plástico que se utilizan para envolver frutas y verduras. El procedimiento es simple: basta con poner la malla sobre una lámina de vidrio, y espolvorear el esmalte sobre ella con ayuda de un cedazo. Hay que tener cuidado al retirar la malla para que el esmalte que tiene encima no caiga sobre la obra alterando la estructura conseguida. Los esmaltes y polvos de vidrio que se perciben mejor son los oscuros y opalescentes.



Estas dos obras se han creado utilizando tramas conseguidas como se describió más arriba, junto con otros elementos en inclusión.

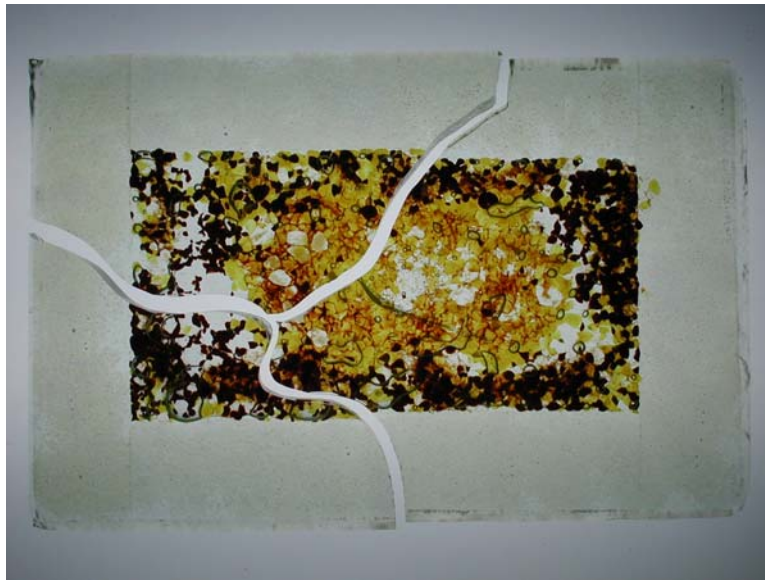


El segundo procedimiento especialmente relevante para crear volumen interno es la superposición, en distintos niveles de la obra, de formas trazadas con pincel. No entraré a describir el uso de distintos medios y procedimientos para la pintura con esmalte (se mencionaron más atrás, ver p. 270).

Problemas encontrados en el trabajo con fritas: roturas por incompatibilidades

El trabajo con fritas es, a fin de cuentas, la fusión de dos vidrios. Por tanto, la compatibilidad de coeficientes de dilatación debe ser óptima si se quiere evitar tensiones que acaben destruyendo la obra.

Como ejemplo, mencionaré una rotura bastante espectacular que corresponde a un vidrio grande, compuesto de fritas amarillas y rojas, encerradas entre dos vidrios. En una primera cocción, que no dio problemas, se fundieron las fritas con la base. En la segunda, se fundió una lámina de vidrio de 3mm sobre la obra. Al abrir el horno, la pieza presentaba unas extrañas roturas redondeadas, en forma de “puzzle”.



Es muy útil poder leer las roturas de las obras para comprender por qué se han producido. En este caso, los bordes de los pedazos eran afilados. Esto quiere decir que la rotura se produjo durante la fase de enfriamiento de la obra, es decir, cuando la curva de temperatura descendía. Si se hubiera roto durante el calentamiento, por una subida demasiado rápida entre la temperatura ambiente y los 550° C, los bordes de las roturas estarían redondeados por el calor, e incluso parcialmente soldados por efecto de las dilataciones en la parte superior de la curva.

El hecho de que las líneas sean tan tortuosas en esta rotura puede deberse a la presencia de diferentes tipos de vidrio en la obra. La superficie coloreada estaba formada por fritas rojas (granulometría 3 y polvo), fritas amarillas (granulometría 3 y polvo) y vidrio float de Cristalería Española molido en trozos grandes y en polvo. De este modo, las líneas de rotura se han creado siguiendo la colocación de vidrios de diferente composición. A la diferencia de coeficientes de dilatación de los vidrios, hay que añadir otro factor: la rotura pudo deberse a un descenso demasiado rápido de la temperatura, pues

cuando se trabaja con fritas es preciso dar aún más tiempo de enfriamiento¹²⁶. De hecho, cuanto más gruesos sean los pedazos de vidrio que se quieren fundir, más tiempo de recocido será preciso.¹²⁷ Por este motivo, las fritas gruesas requieren un enfriamiento más lento que el mismo vidrio en polvo, los esmaltes, óxidos, etc.



En esta imagen se aprecia la estructura de la obra que se rompió. Las fritas aparecen aprisionadas y fundidas entre dos capas de vidrio plano. El grosor de las fritas unido al de las láminas de vidrio tal vez exceda unos milímetros al resto de obras de esa hornada. La curva se calculó para 9 mm de grosor. Esta diferencia también ha podido contribuir a la rotura.

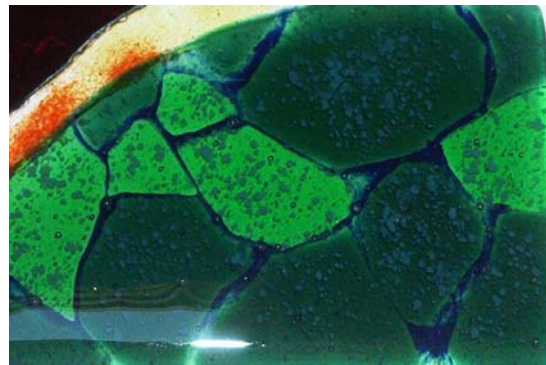
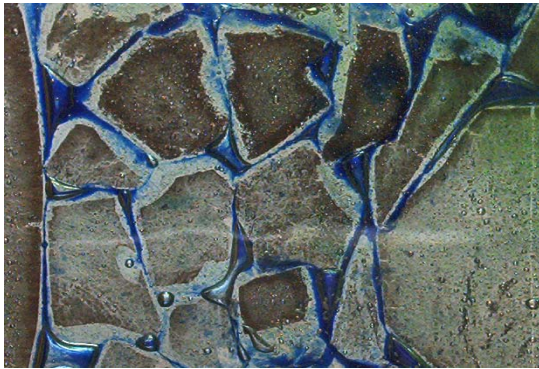
¹²⁶ FIORE, M. (1996)

¹²⁷ Ver capítulo III.3. *Técnicas de moldeado de vidrio. Casting y pasta de vidrio* (p. 373).

Texturas producidas por vidrios fragmentados, ya sean rotos o cortados.

Cuando los fragmentos de vidrio se disponen bajo otra lámina de vidrio y se funden, se conservan su forma original¹²⁸; sin embargo, cuando están en superficie, sus formas se redondean y disminuye su volumen original. Esto nos permite conseguir diferentes acabados y texturas.

Se puede jugar únicamente con fragmentos de vidrios, ya sean éstos transparentes incoloros o de color, o se puede introducir entre ellos algún elemento que les dé contraste, como esmaltes o fritas de color, arenas, o trozos de vidrio de menor granulometría. En este caso el proceso de trabajo es más complejo, pues se debe poner una pequeña cantidad de pegamento entre cada fragmento de vidrio y la lámina de base y esperar a que se haya secado. Después se espolvorea la materia contrastante, y, con un pincel seco y limpio, se “barre” la cantidad que se haya depositado en la superficie de los trozos de vidrio, para que vaya a parar únicamente a los huecos entre ellos.



Sobre estas líneas, dos fragmentos de dos obras distintas creadas con vidrios cortados, con esmaltes entre ellos, y bajo vidrio. El de la derecha está además colocado sobre pan de plata falsa, que se aclara en las zonas donde está en contacto con el esmalte. El de la derecha es vidrio Bullseye en dos tonos de verde distintos, con polvo de vidrio azul oscuro en los intersticios. En ambos casos, las formas de los cortes quedan claramente definidas, creando una calidad de puzzle.



Las dos fotografías de arriba pertenecen a detalles de dos obras distintas, preparadas del mismo modo, pero cocidas a distinta temperatura. A la izquierda, se ha llegado a fusión total: los fragmentos se han incrustado en el vidrio de base. A la derecha, sólo se ha alcanzado fusión en relieve.

¹²⁸ Ver capítulo III.2.1. *Técnicas de fusión en relieve y fusión total* (p. 177).

III.2.4.5. Materiales metálicos.

COBRE.

La experimentación con metales ha sido una de las más fructíferas. Uno de los metales que más posibilidades artísticas ofrece es **el cobre**, como ya mencioné anteriormente. En primer lugar, el cobre es compatible con el vidrio. Aunque su coeficiente de dilatación es mucho mayor que el del vidrio (180×10^{-7} aproximadamente¹²⁹, frente a los 90×10^{-7} del vidrio de Cristalería Española), es muy flexible, muy dúctil y tiene una gran capacidad para soportar la compresión, evitando así que el vidrio que lo envuelve se rompa. El cobre ha sido una de las “inclusiones” realizadas con más frecuencia en el ámbito del vidrio artístico y escultórico, no sólo con las técnicas de fusión, sino también con las de colada.



Detalle de una escultura en vidrio realizada mediante la técnica de colada. Se aprecian distintos elementos de cobre con tonos que varían del rojizo al anaranjado.

En segundo lugar, por efecto de una atmósfera reductora, puede tomar una coloración con diversas gamas de rojo intenso cuando se encierra entre dos vidrios. Teniendo en cuenta lo difícil que es conseguir tonos rojos con el vidrio, la utilización de cobre puede ser un buen recurso.

En tercer lugar, el cobre tiene un punto de fusión de 1.084°C ¹³⁰; con las técnicas de fusión de vidrio nunca superaremos los 850°C ¹³¹. Es decir, el cobre no alcanzará la temperatura suficiente para hacerse líquido, evitando por tanto que se desprendan gases.

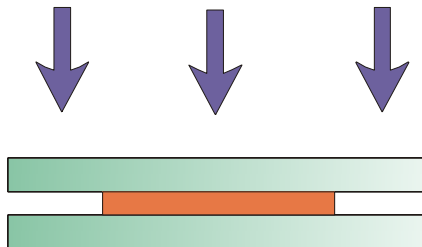
Podemos conseguir cobre en varias presentaciones distintas para trabajar con vidrio, pero sobre todo es útil en láminas de distintos grosores y en hilos.

¹²⁹ ORÚS (1985) en *Materiales de construcción*, Ed. Dossat, Madrid, p.421, da como coeficiente de dilatación del cobre $0,000018$; EISBERG, R. y LERNER, L. (1981) en *Física. Fundamentos y aplicaciones*. Ed. McGraw-Hill, Madrid, asigna al cobre un coeficiente de dilatación de $16,8 \times 10^{-6}$.

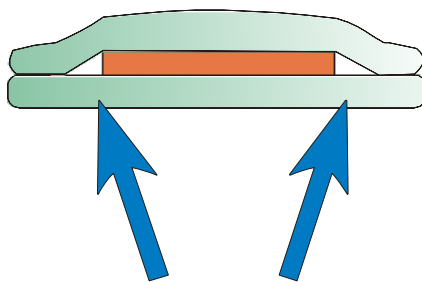
¹³⁰ ORÚS (1985), *op. cit.*, p. 421. En la *Enciclopedia didáctica de Física y Química*, se indica como punto de fusión 1080°C .

¹³¹ A más temperatura, el vidrio hierve y se vuelve tan líquido que se derrama; además se vuelve corrosivo, estropeando el horno.

Las inclusiones en cobre presentan un problema: si el cobre es muy grueso, la lámina de vidrio superior puede encerrar aire al ablandarse con el calor del horno y caer sobre la otra lámina, encerrando aire, como puede verse en el gráfico siguiente:



En el dibujo de arriba se muestra un esquema del corte transversal de una prueba como las descritas, en la que el cobre tiene bastante grosor. Las líneas moradas representan la fuerza de la gravedad.



El dibujo de abajo muestra cómo actúa la fuerza de la gravedad sobre el vidrio cuando este supera la temperatura de ablandamiento. Al cerrarse la lámina de arriba sobre la de abajo, en los lados de la pieza de cobre quedan burbujas de aire atrapadas, que están señaladas por las flechas azules.

Esta inclusión de lámina gruesa de cobre tiene alrededor una burbuja de aire atrapado.

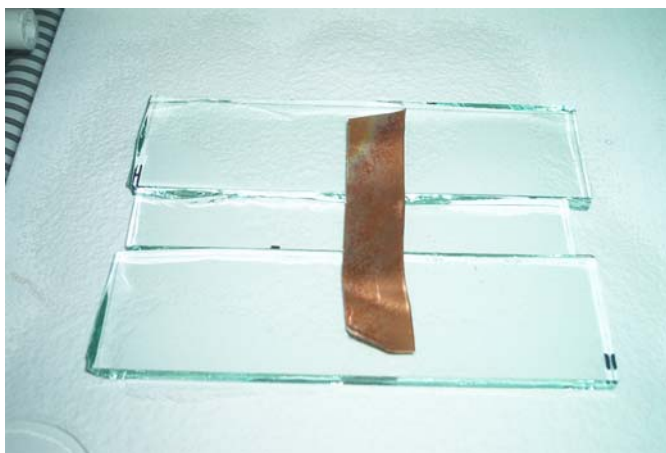


El problema del aire atrapado lo vamos a encontrar en muchas ocasiones cuando trabajemos con inclusiones. En el caso del cobre y otros metales, el aire atrapado no sólo se producirá por el grosor de la pieza de cobre, sino también por la forma que hayamos dado a ésta. De hecho, en algunos proyectos puede ser conveniente trabajar con formas de cobre que no sean totalmente planas. En este caso caben algunas soluciones:

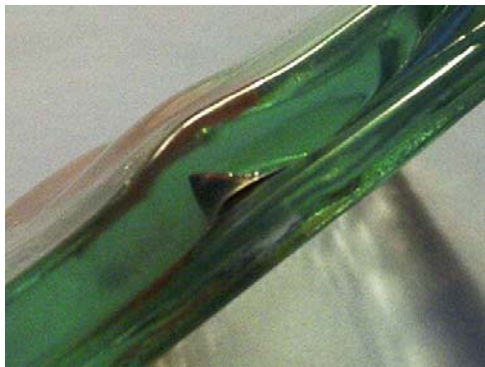
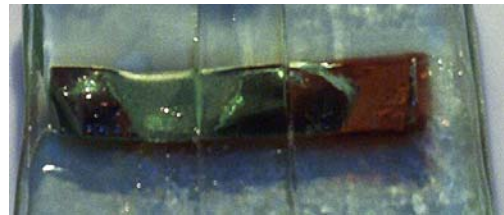
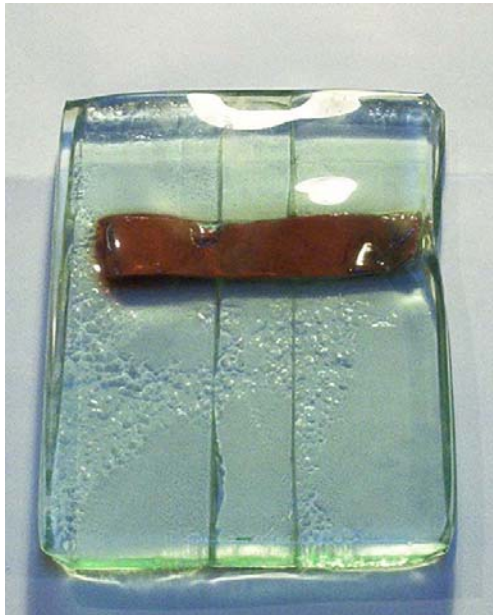
- Utilizar láminas de cobre lo más finas que sea posible. La fotografía siguiente muestra láminas de cobre de distintos grosores incluidas en el vidrio. La lámina más gruesa (izquierda) está rodeada por una gran burbuja de aire, que apenas aparece en las otras dos tiras de cobre.



- Poner la placa de vidrio de arriba más gruesa que la de abajo: de este modo, el peso del vidrio obligará al aire a buscar una salida por algún resquicio.
- Prever en la forma de la obra diversos elementos o zonas libres que actúen como *chimeneas* para permitir la salida del aire atrapado.



Esta fotografía muestra una obra con una lámina de cobre en el horno, antes de cocerse. En este proyecto se ha utilizado una lámina de cobre grueso retorcido que podría atrapar una gran cantidad de aire. Sin embargo, la lámina de vidrio de abajo se ha cortado en tres partes para que queden algunas fisuras que permitan la salida del aire. Esta idea se refuerza además por un lecho de piedra pómez en polvo, muy porosa.



Algunos detalles de la obra anterior una vez cocida. A la izquierda, arriba, la obra vista desde delante no presenta las grandes burbujas de aire atrapado características de este procedimiento. Al lado, la lámina de cobre vista desde detrás, donde se advierte que aún están abiertas las fisuras que se diseñaron para dejar salir burbujas, y que una pequeña porción de aire (que no consideraré burbuja descontrolada, pues se limita a llenar un vacío), permanece tras la lámina de cobre, pues ésta no se ha hundido suficiente en el vidrio de abajo. Sobre estas líneas, un detalle lateral en el que se ve que la lámina de vidrio tenía una forma poco plana, propicia para atrapar aire.

- Elevar la temperatura de fusión hasta 870°C y mantenerla a esa temperatura 20 minutos o más, de manera que el vidrio alcance un estado lo bastante fluido para permitir el *afinamiento*, es decir, para que las burbujas de aire fluyan hacia la superficie y salgan de la masa de vidrio¹³². Este método es peligroso porque la obra de vidrio se puede deformar en exceso, y por el riesgo de desvitrificación.
- Poner vidrio molido, de las mismas características que el que estamos usando para experimentar con las inclusiones (en nuestro caso, float) alrededor de la pieza de cobre que puede causar una burbuja y en los bordes de la obra bajo la capa de vidrio superior, de modo que permita que el aire pase a través de él antes de fundirse¹³³.

¹³² LUNDSTROM (1989) recomienda que cuando aparezcan burbujas en la obra, se caliente hasta los 1600°F, permitiendo a las burbujas subir hasta la superficie y explotar (p.24).

¹³³ MOORMAN (1990), p. 69.

- Controlar las burbujas de aire formadas de modo que se incorporen como otro elemento expresivo a la obra escultórica.

Los cables eléctricos formados por hilos de cobre de diferentes grosores ofrecen material barato y de gran utilidad. Los hilos de cobre permiten posibilidades de trabajo muy interesantes, puesto que facilitan la realización de líneas, la definición de formas, la creación de trazos en el interior del vidrio...



A la izquierda, arriba, podemos ver una muestra con distintos alambres de cobre de varios grosores. En la imagen de la derecha, vemos algunos hilos de cobre incorporados a una obra, junto con otros elementos: esmaltes, pan de plata fina y pan de plata falsa.

Esta imagen presenta una muestra con varios tipos de elementos (pan de plata falsa, esmaltes, vidrio molido, hilo de cobre) que ha sido termoformada. El hilo de cobre tiene la ventaja respecto a otros metales de acomodarse perfectamente a los termoformados, acompañando el cambio de forma que experimenta el vidrio.

ESTAÑO.

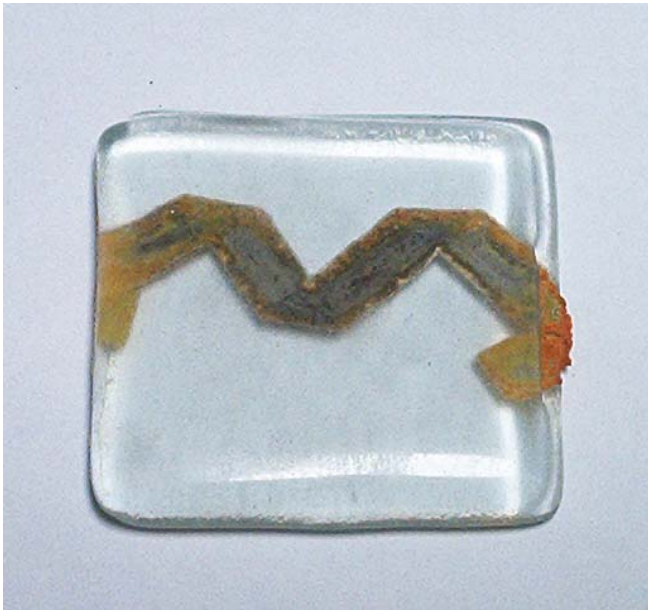
Otro de los metales experimentados es el estaño. Este metal funde a los 232°C; este primer dato parece desaconsejar su utilización mezclado con vidrio, puesto que subiremos hasta los 850°C, y existe el riesgo de burbujeo. Sin embargo, su punto de ebullición es muy alto (2270°C). Su coeficiente de expansión térmica es de 235×10^{-7} (hay 145 unidades de diferencia; recordemos que con 3 unidades ya hablamos de incompatibilidad cuando se trata de dos vidrios: es previsible que haya incompatibilidad). A pesar de todo, hice las pruebas que arrojaron resultados positivos. Utilicé una lámina de estaño de 0,5 mm de grosor. El estaño se “*quema*”, es decir, se convierte en una materia de color grisáceo-amarillento, traslúcida, que ofrece unos resultados plásticos interesantes. Por otra parte, una vez cocidas las muestras, no aparecían tensiones al observarlas a través del polariscopio. Posiblemente, la diferencia de coeficientes de dilatación se ve compensada por las características del estaño (es blando y con poca resistencia a la compresión y a la tracción) y por los cambios que experimenta al elevar tanto la temperatura por encima de su punto de fusión.



Muestra de lámina de estaño en sándwich; en la imagen de arriba se aprecian la variedad de tonos del amarillo al gris; en la imagen junto a estas líneas se ve la transparencia que aparece en una parte de estos tonos.



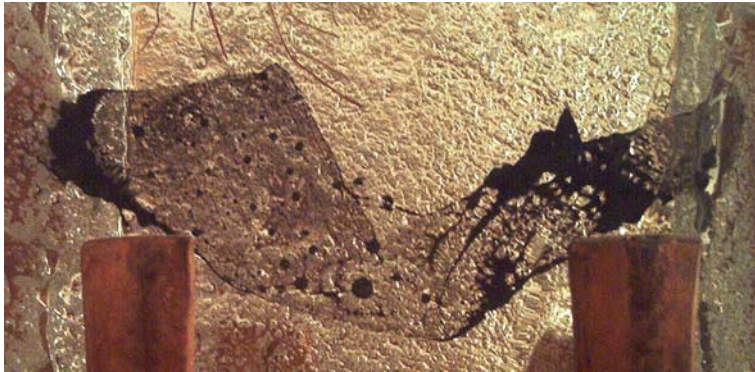
Realicé otras pruebas con láminas de estaño, esta vez dejando que parte de la hoja cortada saliera por los lados del *sándwich* de vidrio, actuando como chimenea. El resultado fue diferente, ya que las atmósferas en ambos casos variaron: en el primer caso fue reductora, y en el segundo, oxidante.



En estas dos pruebas no se ha logrado que la lámina de estaño quede transparente. El resultado en ambas pruebas es diferente: arriba, con una temperatura de fusión más baja, el estaño ha conservado su apariencia metálica. Sin embargo, en la muestra de abajo, se han producido oxidaciones internas, con una afloración de color amarillo anaranjado, sobre todo en la parte de fuera del vidrio. El estaño "...a 200° se pulveriza por adquirir una textura granular cristalina"¹³⁴. Posiblemente esto es lo que ha sucedido en la parte de la lámina que queda fuera del vidrio: el estaño se ha pulverizado al subir la curva de temperatura, después posiblemente se ha fundido al superar los 230°C, y al descender la curva de temperaturas en la fase de recocido, se ha vuelto a pulverizar.

Respecto al estaño, quiero indicar que no sólo lo he experimentado en inclusión con la técnica de fusión, sino también con la de colada, con resultados algo distintos, como puede verse en la imagen siguiente. Posiblemente esta textura de velo de diminutas gotas sólo se consigue mediante colada, pues el estaño no se calienta paulatinamente, como en el caso de la fusión, sino que entra en contacto de repente con una masa de vidrio a más de 800°C.

¹³⁴ ORÚS (1985), p. 429.

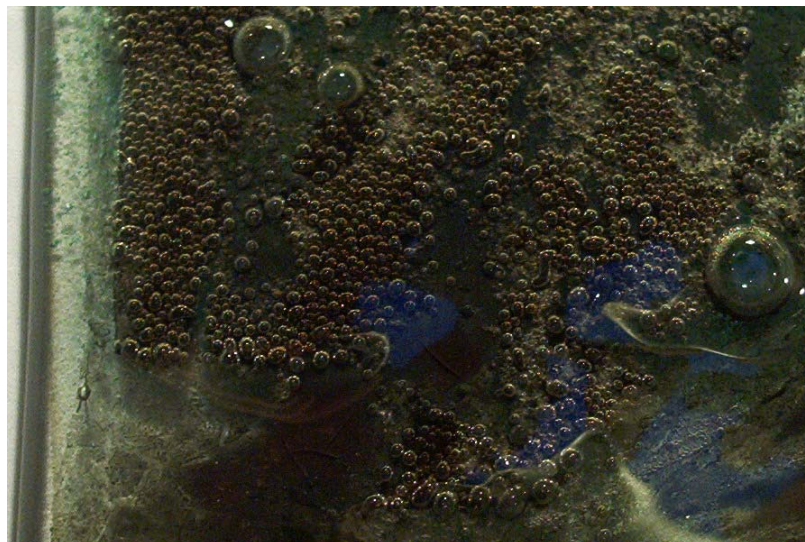


Detalle de una escultura en vidrio realizada mediante colada. Vemos una inclusión realizada con una lámina de estaño, que se muestra como un fino velo de burbujas negras, que en algunas zonas se unen formando una zona negruzca y opaca. Parte de la lámina salía por los lados actuando como chimenea.

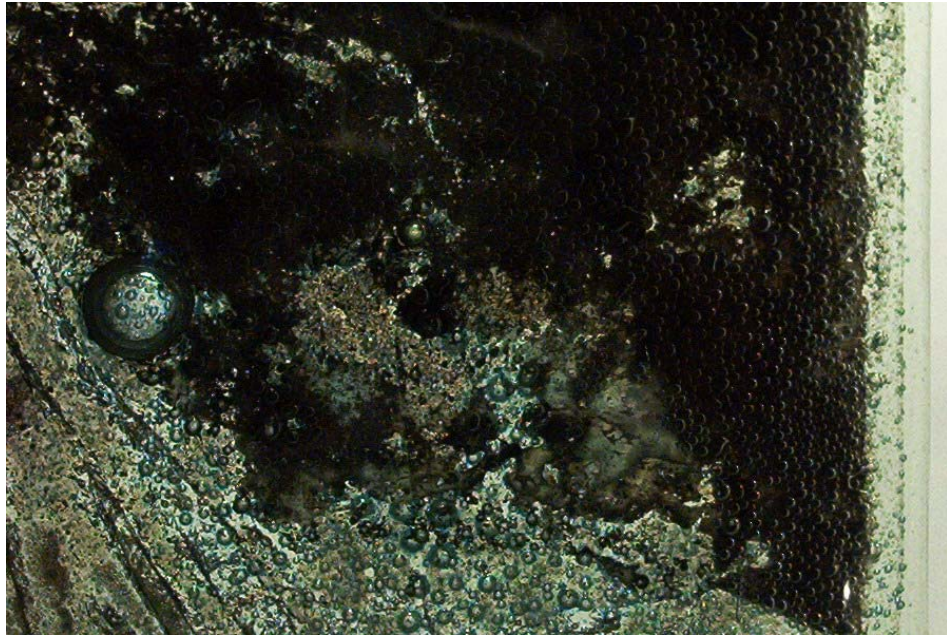
ALUMINIO.

La experimentación con aluminio presenta algunas dificultades. La primera de ellas es el desconocimiento de la aleación que se está utilizando, pues el aluminio generalmente se asocia a otros metales para darle dureza y resistencia. Los datos consultados en relación con el aluminio se refieren al aluminio puro, sin aleaciones. De ahí la dificultad de adelantar resultados, pues para la experimentación dispondremos de aluminio aleado. Los datos que tenemos son los siguientes: el aluminio tiene su punto de fusión en 658°C ; en el trabajo con vidrio podemos subir la temperatura hasta 850°C ; esto supone que el aluminio se fundirá antes que el vidrio. El coeficiente de dilatación térmica es 255 (es decir, hay una diferencia de 165 unidades respecto al vidrio, luego podemos prever incompatibilidad). Las pruebas se han realizado con lámina de aluminio de uso doméstico, y con alambre de aluminio del que se utiliza para cables eléctricos.

La fotografía siguiente a estas líneas muestra el resultado de utilizar una lámina de aluminio doméstico en sándwich en una obra. Como se aprecia, el resultado es un fondo negro y burbujeante, opaco, roto en algunas zonas dejando que pase algo la luz.



En combinación con esmaltes o fritas no mejoran los resultados, pues el color sigue siendo negruzco y opaco, aunque con más burbujas y zonas traslúcidas.



La utilización de alambre de aluminio no da mejores resultados. Adquieren un color negro y aparecen rodeados de un pequeño burbujeo negro.



Muestra de alambre de aluminio de 2mm de sección en un sándwich de vidrio float. El alambre tiene un color negro, y está rodeado de unas finas burbujas blancas. Además, hay una gran burbuja de aire ocluido rodeando los trozos de alambre.

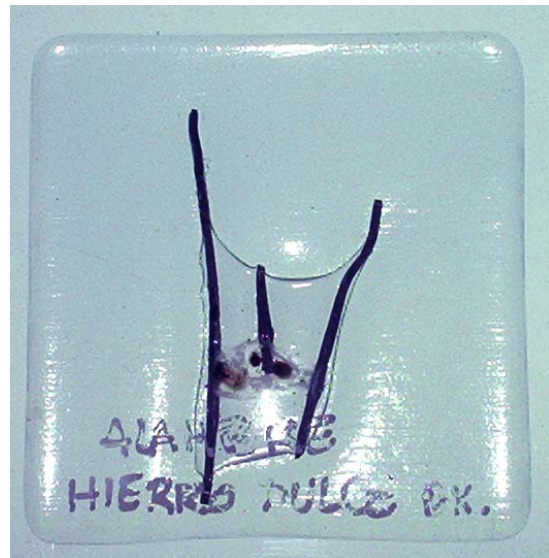
El aluminio en alambre no es totalmente compatible con el vidrio, hay algunas tensiones débiles. Sin embargo, en lámina fina no parece ofrecer problemas de compatibilidad.

HIERRO.

Este metal tiene un punto de fusión superior al del vidrio: 1500°C. Su coeficiente de dilatación es más próximo al del vidrio que los otros tres metales que ya se han tratado: 118×10^{-7} (sólo 28 unidades de diferencia). Sin embargo, como veremos, es el que mayores problemas de incompatibilidad presenta, pues es el más duro de todos ellos (150 unidades Brinell, que llegan a 210 en el caso del acero, frente a las 55 del cobre, las 14 del estaño o las 25 del aluminio), y el que mayor resistencia a la tracción tiene (1800 Kg/cm², mientras que el cobre tiene 60, el estaño 4 y el aluminio 11). Creo que estas características del hierro son las que lo hacen totalmente incompatible con el vidrio.

Las pruebas realizadas han sido hechas con alambre de hierro dulce y alambre acerado. También se realizó otra prueba con alambre galvanizado. Los resultados fueron los siguientes:

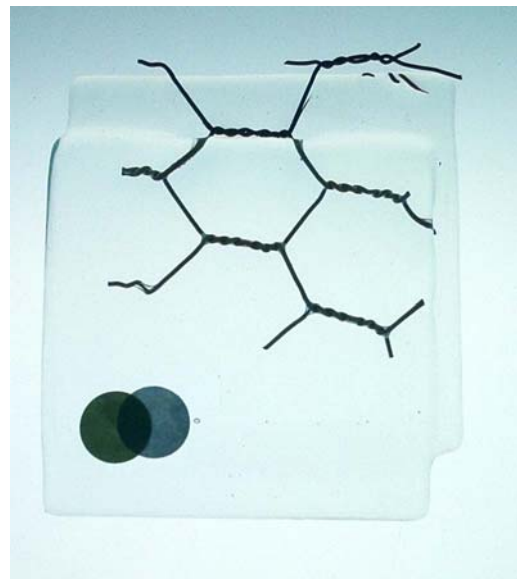
El alambre de hierro dulce de 1 mm de sección en inclusión deja manchas difuminadas negruzcas producidas por el óxido que se desprende al calentarse. Además, presenta muchas tensiones al observarlo a través del polariscopio. No es un material aconsejable para trabajar con él. Sin embargo, el alambre de acero presenta menos tensiones, posiblemente por la sección menor del alambre (0,3 mm), y por el amortiguamiento que supone la gran burbuja gaseosa que surge alrededor, tal vez por la presencia de un recubrimiento antióxido.





Muestra con una inclusión de alambre de hierro dulce galvanizado. También presenta una gran burbuja gaseosa, posiblemente formada por aire ocluido y gases desprendidos del recubrimiento antióxido. La incompatibilidad no es tan grande como en el caso del hierro dulce debido a la menor sección de este alambre (0,2 mm).

Otras pruebas realizadas con mallas metálicas mostraron pocas tensiones, lo que hace pensar que existe relación entre el grosor del alambre utilizado, las burbujas de aire (que en el caso de las mallas metálicas son inevitables) y las tensiones que surgen.



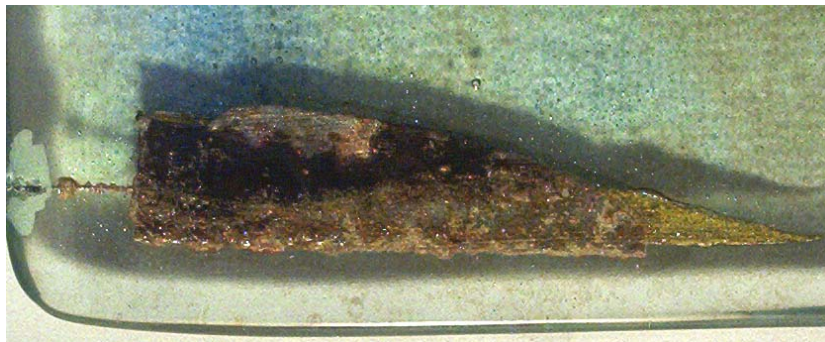
Estas dos muestras presentan pocas tensiones cuando se observan a través del polariscopio. En la de la izquierda puede verse una zona donde el vidrio se ha enturbiado con un velo blanquecino, producido al quemarse el recubrimiento antioxidante. En la malla de la derecha, los vidrios se movieron durante el calentamiento del horno, por lo que parte de la malla quedó fuera del sándwich. Este problema es frecuente cuando se utilizan materiales gruesos entre dos vidrios, y hay que prever un sistema de barreras de fibra cerámica para evitar que los vidrios se desplacen o caigan sobre otras piezas.

COMBINACIONES DE VARIOS METALES.

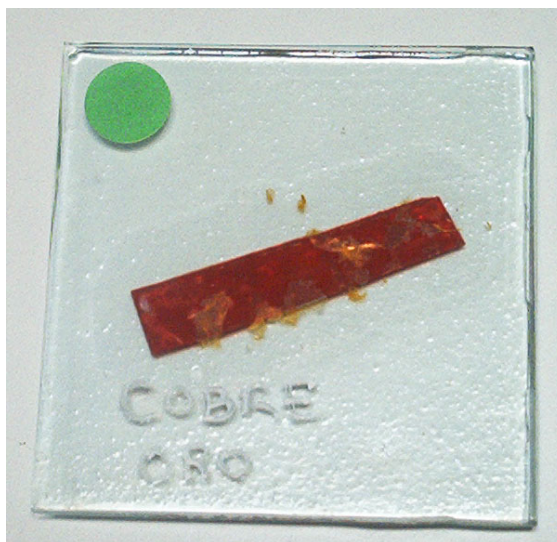
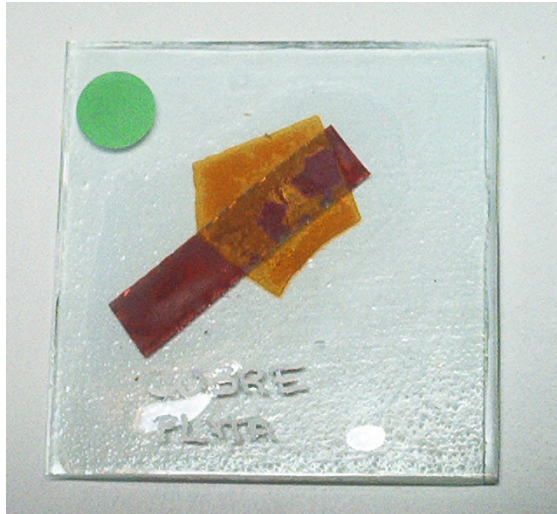
Realicé algunas experiencias mezclando dos metales distintos para comprobar si existían fusiones entre ellos, o si se combinaban de algún modo los colores o efectos plásticos que producían. Los resultados fueron los siguientes:



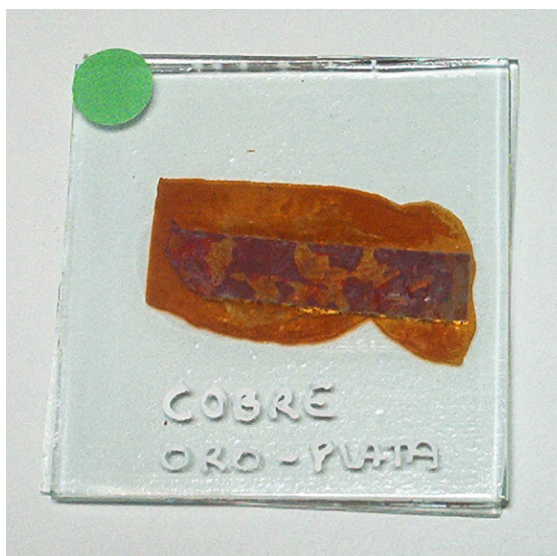
Muestra con una lámina de estaño junto con dos alambres de cobre. El cobre parece reforzar el proceso de cristalización del estaño, que en esta pieza ha perdido por completo su color gris metálico y tiene una apariencia terrosa amarilla anaranjada.



Estas dos fotografías corresponden al anverso y reverso de una obra en la que se combinaron dos láminas triangulares del mismo tamaño de cobre y estaño; además, se dejó un alambre de cobre que sale por un extremo de la obra actuando como chimenea. Los tonos logrados van de los rojizos propios del cobre a los anaranjados y amarillos terrosos del estaño. Puede observarse que, en la imagen de abajo, donde el cobre debería verse en primer término, la textura también es terrosa, en vez de presentar la textura lisa habitual en el cobre.



A la izquierda, tres pruebas combinando cobre con pan de plata fina, de oro fino y de plata junto con oro finos respectivamente. Los tonos rojos, ámbar y anaranjados son muy intensos y transparentes, aunque conservan ciertos brillos metálicos. Arriba, a la derecha, hay una prueba que combina estaño y pan de oro y plata, en la que pueden observarse otros tonos diferentes.



Los metales experimentados en inclusión de bastante grosor han sido los descritos hasta aquí, pero pueden experimentarse otros, como plomo, oro y plata. A continuación incluyo una tabla con las principales características de los metales trabajados y otros metales.

TABLA DE PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DE METALES PARA TRABAJAR CON VIDRIO EN FUSIÓN.

METAL	PUNTO DE FUSIÓN °C	COEF. DILATAC. X 10 ⁻⁷	Diferencia. Coef. Dilatación con vidrio	Resistencia a la tracción (kg/mm ²)	Densidad	Dureza (Brinell)
Vidrio	800-900	90	-	-	-	-
Cobre	1080	180	90	60	8,9	55
Estaño	230	235	145	4	7,3	14
Aluminio	658	255	165	11	2,7	25
Hierro dulce	1500	118	28	1800-2600	7,8	150
Acero	1300	124	34	>2000	6,8	210
Plomo	327	290	200	1,5	11,34	5,5
Plata	961	191	101	172	10,5	25
Oro	1064	141	51	130	19,3	20

DIVERSOS TIPOS DE PANES METÁLICOS

Bajo este epígrafe agruparé una serie de experimentaciones que han resultado ser muy fructíferas debido a los efectos plásticos logrados y a la buena compatibilidad de los materiales conseguidos. Se trata del trabajo con pan de oro falso, pan de plata falsa, pan metálico irisado, pan de plata fina y pan de oro fino. Cada uno de estos metales ofrece colores y texturas diferentes que describiré a continuación. La ventaja de estos materiales es que pueden hallarse fácilmente en establecimientos especializados en bellas artes o manualidades, y su precio, incluso en el caso del oro fino, es relativamente asequible.

El pan de oro fino fue probablemente el primer metal para inclusión utilizado en vidrio¹³⁵. Los metales preciosos como el oro, el platino o el paladio pueden utilizarse también, y tienen la ventaja de cambiar poco su aspecto después de cocidos; sin embargo no son fáciles de conseguir y su precio es muy elevado. Los llamados panes falsos se fabrican con cobre y aluminio, pero cambian su apariencia después de ser horneados.

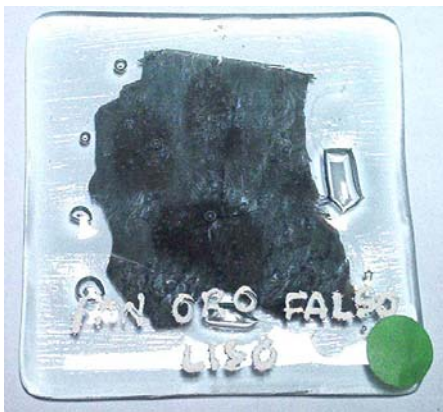
¹³⁵ BRADLEY WALKER, M. (2000): *Warm Glass*. Four Corners International, Clemmonds.

Pan de oro falso, pan de plata falsa y pan irisado.

Estos materiales pueden adquirirse en librillos de 25 hojas cuadradas de 12 cm de lado. El grosor de estas hojas es muy pequeño, pero se manejan con cierta facilidad. Son aleaciones distintas; la diferencia de sus componentes se percibe al cocerlos en el horno, porque los resultados son bastante distintos en cuanto al color resultante.

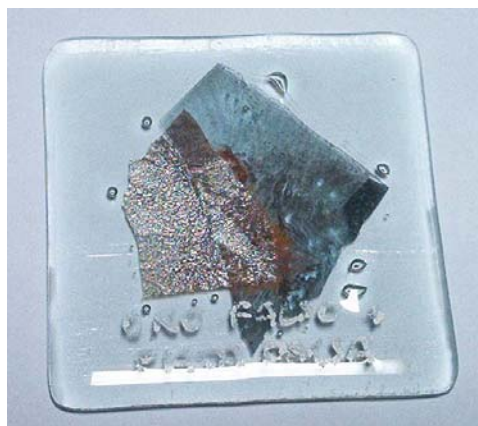
Estas láminas finas, si se emplean en una sola capa lisa, no presentan tantos problemas de creación de oclusiones de aire ni de incompatibilidades como los que he hallado en el caso de metales en presentaciones más gruesas.

Cuando se cuecen en el horno entre dos vidrios ofrecen resultados distintos. El pan de oro falso suele perder su tono metálico y se funde con el vidrio creando una textura de finas burbujas en tono azulado. La plata falsa no pierde su aspecto gris metálico, aunque se vuelve translúcida y es parda en algunas zonas, creando también una textura de finas burbujas. En cuanto al pan irisado, pierde totalmente sus colores y aspecto metálico, y adquiere un tono azul intenso y transparente, con textura de burbujas.

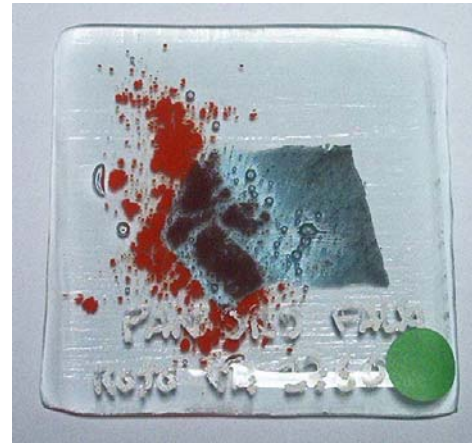


Arriba, a la izquierda: pan de oro falso, liso. A la derecha, pan de plata falso, liso.

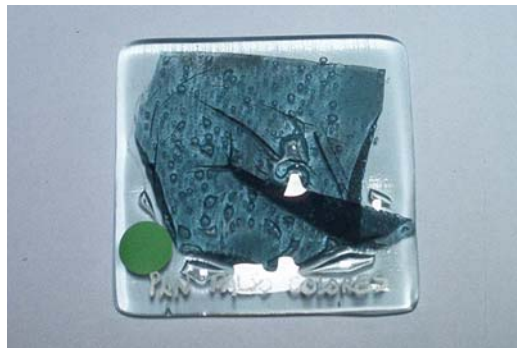
La diferencia de tono y transparencia entre el pan de oro falso y el pan de plata falsa se aprecia mejor en esta fotografía que muestra una prueba con una combinación de ambos.



Estas finas láminas metálicas permiten muchas variaciones, puesto que se pueden mezclar con esmaltes y fritas, cambiando así su color y su aspecto, y pueden variarse las texturas arrugadas y lisas. Las series de fotografías siguientes muestran el mismo esmalte combinado con pan de plata falsa y de oro falso respectivamente:

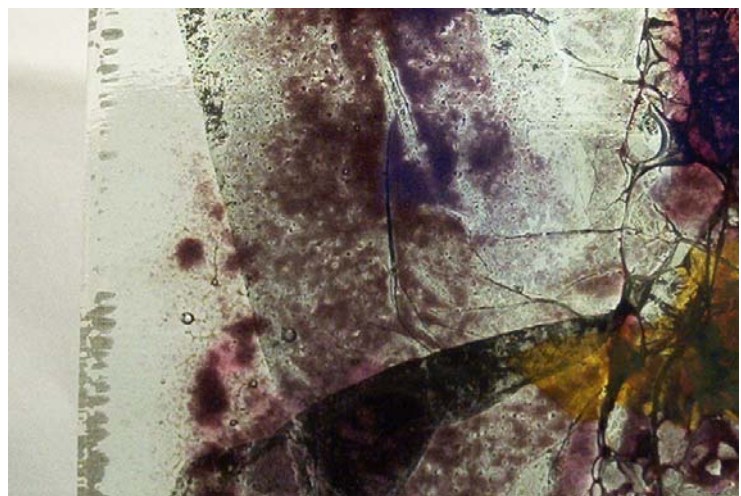


El pan variegado (un pan irisado posiblemente de cobre) tiene como resultado tras la cocción una lámina azul transparente, formada por finas burbujas¹³⁶. Sin embargo, es incluso más costoso que el pan de oro fino.



¹³⁶ A esta misma conclusión llega BRADLEY WALKER, M. (2000).

En las fotografías siguientes se ven algunos detalles de obras que tienen inclusiones de pan de plata falsa con esmaltes y fritas; los rastros de las arrugas del pan permanecen después de cocer el vidrio.



Pan de oro fino y de plata fina.

Así es como se llama al pan metálico de oro auténtico o de plata auténtica. El pan de plata fina es uno de los materiales más sorprendentes, puesto que en combinación con el vidrio y al subir la temperatura hasta más de 800°C cambia totalmente de aspecto, volviéndose una materia totalmente transparente y de color que varía del amarillo intenso al ámbar. Durante muchos siglos se utilizaron sales de plata para modificar el color del vidrio cuando se decoraban vidrieras; era uno de los trabajos más habituales y se realizaba pintando con sales de plata la superficie del vidrio plano y horneándolo, logrando así distintos efectos transparentes. Sin embargo, la plata pura ofrece el mismo efecto cuando se trabaja en panes finos entre vidrios float de Cristalería Española. Todos los experimentos que describo a continuación están hechos con este tipo de vidrio.



A la izquierda, muestra con una sola capa de pan de plata, obteniéndose un tono amarillo. A la derecha, dos capas de pan de plata, que ofrecen un tono ámbar.

Cuando se pone bastante cantidad de pan de plata entre dos vidrios, o se producen arrugas de bastante grosor, la plata conserva algo de brillo metálico al fundirse, como puede verse en la siguiente muestra:

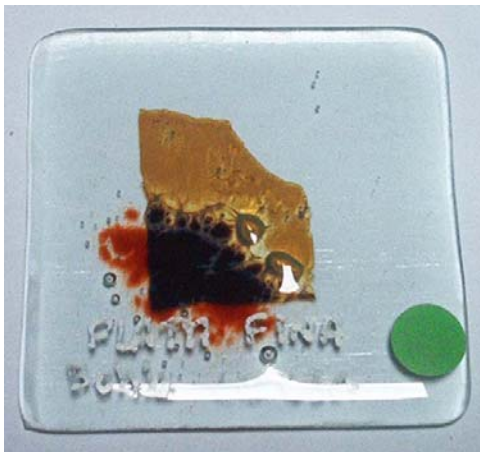


El inconveniente que presenta este material es que no siempre se pueden prever los efectos; en ocasiones el tono amarillo del pan de plata se ve blanquecino o incluso verdoso en reflejo, aunque en transparencia siga siendo amarillo. Pero el tono en reflejo es bastante desagradable y opaco. Al mirarlo a través del microscopio podemos ver una fina película de cristales justo encima de la plata; posiblemente es una desvitrificación local.

Fragmento de una obra que muestra pan de plata junto a otros materiales. Este pan de plata tiene un tono blancuzco aunque es amarillo cuando se ve al trasluz.



Otra de las posibilidades del pan de plata es mezclarlo con esmaltes y con fritas, aunque los resultados no son tan interesantes como cuando se trabaja con panes de aleaciones metálicas.

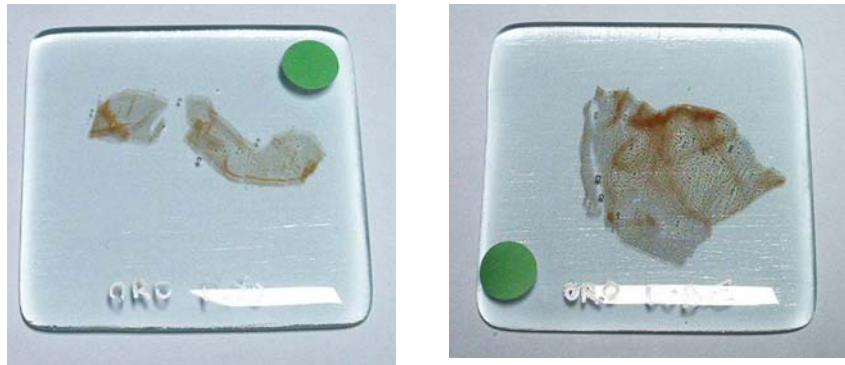


Dos muestras de plata fina con esmaltes. La mezcla con plata, al contrario de lo que sucedía con los panes de metales falsos, no produce tonos transparentes sino opacos y de colores pardos.

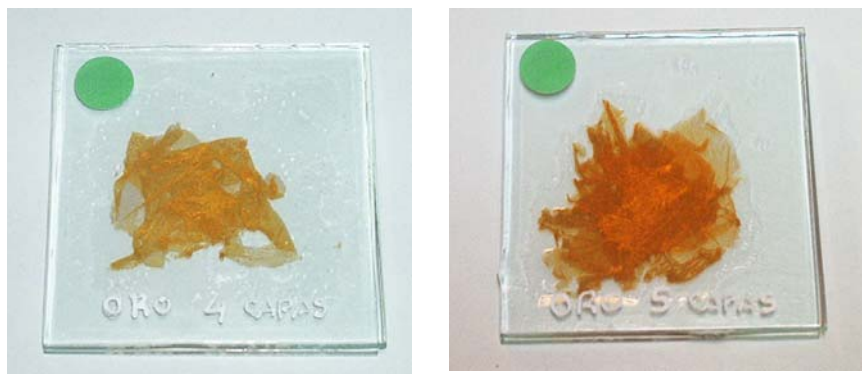
El pan de oro, al contrario que los panes falsos descritos más arriba, sí se utiliza habitualmente en inclusiones en vidrio, y he podido hallar indicaciones al respecto en la bibliografía consultada¹³⁷.

¹³⁷ LUNDSTROM (1991), p. 68, incluye el trabajo con pan de oro en su capítulo acerca de lustres metálicos. Sin embargo, sólo habla ligeramente de los resultados que pueden obtenerse

LUNDSTROM (1991) indica que para que el oro tenga realmente apariencia de oro debe ponerse en bastante cantidad. Cuanto más gruesa sea la capa de oro, mejor será el color. Recomienda poner cinco capas de oro para lograr un buen efecto. También indica que las temperaturas de cocción que el oro admite van desde los 700° a los 870°C. En mis pruebas he comprobado que, efectivamente, una capa de oro es casi invisible, y dos apenas dan un tono rojizo, como puede verse en las imágenes que incluyo a continuación, de las cuales la de la derecha tiene una sola capa y la de la izquierda dos:



Cuando se ponen más capas de oro los resultados mejoran. Sin embargo, la delgadez de la lámina de oro requiere de una gran habilidad para colocar la hoja donde se desea y para hacerlo de manera que las arrugas no sean excesivas.



La mezcla tanto de plata fina como de oro fino con otros panes metálicos da malos resultados, pues no se consigue transparencia, y los tonos no son demasiado atractivos, como puede verse en la muestra siguiente:

con oro fino, y aunque menciona que existen otros tipos de panes metálicos, no da indicaciones acerca de los efectos plásticos que se pueden lograr con ellos. Respecto a la técnica que recomienda para trabajar con pan de oro, es semejante a la tradicional, puesto que aconseja poner un mordiente para que el oro permanezca pegado al vidrio, utilizar una brocha especial para coger el oro del librillo (lo que nosotros llamamos "polonesa"), etc. Por ejemplo, considera un defecto las arrugas que los panes metálicos pueden tener, en vez de valorar que pueden hacerse intencionadamente para lograr variedad de texturas. No menciona nada de mezclas de panes metálicos, esmaltes, etc.



He encontrado muy fructífera, sin embargo, la combinación de pan de plata fina con pan de oro fino entre dos vidrios fundidos. En primer lugar, se consigue controlar el proceso de fusión de la plata fina: poniendo una pequeña cantidad de oro sobre una lámina de pan de plata se evita la cristalización de ésta, es decir, no se forma esa película blanquecina que mencioné más arriba. En segundo lugar, mejora la apariencia dorada con sólo poner una lámina de cada clase; la plata presta a la mezcla el tono amarillo-ámbar que adquiere al fundirse, mientras que el oro aporta su apariencia metálica. El resultado es un tono bastante intenso dorado. No tiene la misma apariencia de oro que cuando se ponen cinco capas de oro fino, pero en cambio el vidrio tiene un aspecto transparente, brillante y metálico al mismo tiempo, y es más barato y fácil de trabajar.

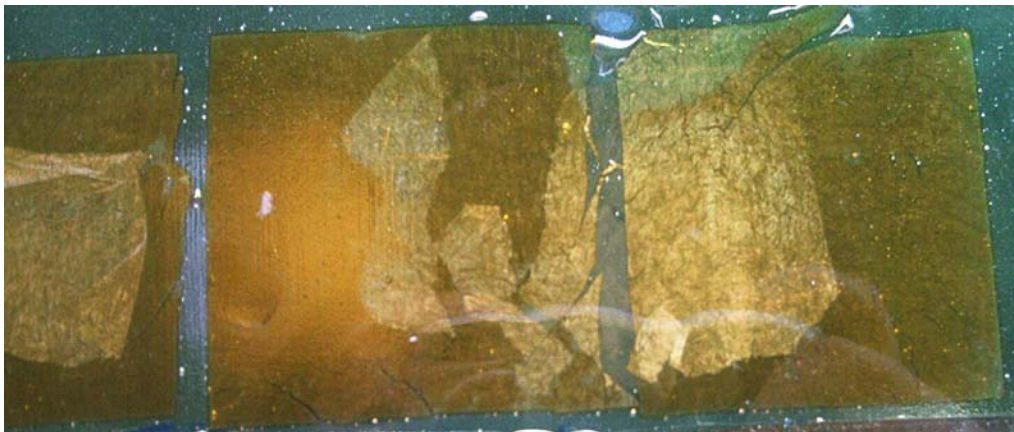


En esta muestra se ha fundido una lámina de plata fina con unas pequeñas porciones de pan de oro fino sobre aquélla. El resultado es un brillo metálico intenso en las zonas donde ambos metales están en contacto; además, la plata no ha virado al tono blancuzco y apagado que adquiere en ocasiones.

Tanto los panes de oro y plata falsos, como los de oro fino adquieren una calidad craquelada cuando se estiran al ser termoformados; Sin embargo, la plata fina continúa prestando su tono amarillo transparente al vidrio como si de un vidrio de color se tratase.



Fragmento de una obra realizada mediante la técnica de estiramiento por gravedad, en la que se forzó el alargamiento del vidrio unos 10 cm. La inclusión de oro y plata presentaba esta textura.



Fragmento de una obra en la que se pusieron láminas de oro bajo láminas de plata.

Los panes de plata y oro finos en contacto con otros vidrios.

Como advertí más arriba, los efectos amarillos, ámbar y metálicos conseguidos con la plata fina se han hecho utilizando el vidrio float de Cristalería Española. He podido comprobar que con otros vidrios no se obtienen los mismos resultados. En una cocción con vidrio Bullseye, en la que puse panes de plata y oro juntos entre un vidrio rojo y otro transparente blanco, observé que el pan de plata no viró al tono amarillo, sino que mantuvo su aspecto gris metalizado. Por su parte, el oro no se apreciaba, y el color rojo transparente del vidrio se hizo pardo oscuro.

Respecto al pan de plata, la explicación para este resultado radica en la temperatura de fusión del vidrio Bullseye, más baja que la del vidrio float. Al fundirse antes, los dos vidrios entre los que pusimos la plata la encierran a una

temperatura más baja que la necesaria para que ésta alcance, por su parte, su temperatura de fusión. Cuando esa temperatura se alcanza¹³⁸, la plata no tiene oxígeno a su alrededor, y en esa atmósfera reductora no se produce el esperado cambio de tono, sino que conserva su aspecto metálico.



Los panes de oro fino y plata fina se pusieron entre un vidrio transparente y otro rojo Bullseye; el resultado puede verse aquí: la plata no es amarilla y el vidrio rojo a cambiado de color. El oro ha desaparecido.

Por otra parte, la ausencia de oro tras la cocción guarda relación con el cambio de color del vidrio rojo transparente a pardo: el selenio que contiene este vidrio reacciona con el oro produciendo este color.

Otras formas de trabajar con pan de oro y pan de plata.

Aunque considero más efectiva la forma de trabajar con panes metálicos que he descrito hasta ahora (es decir, entre vidrios y sin ningún tipo de pegamento) he experimentado el trabajo con ellos de otras formas. Al ponerlos sobre vidrios, con distintos tipos de mixtiones se produjeron los siguientes resultados:

- Mixtión para pan de oro (marca 3 Aros), no específico para altas temperaturas. Puse cuatro capas de pan de oro en la superficie del vidrio y lo cocí hasta los 600°C para poder quemar el mixtión antes de encerrar el pan entre dos vidrios. Al quemarse rompe el pan y forma una textura de piel cuarteada y levantada.
- Goma arábiga. Con ella puse una capa de oro, y otra de plata encima. También la quemé hasta los 600°C, y el resultado fue mejor que con el otro mixtión, pero la plata está en realidad suelta sobre el vidrio, y se va al rozarla suavemente con la yema de los dedos. La volví a cocer con un vidrio encima.

¹³⁸ No es preciso llegar a los 960° C para fundir pan de plata, ya que debido a su escaso grosor se funde a más baja temperatura.



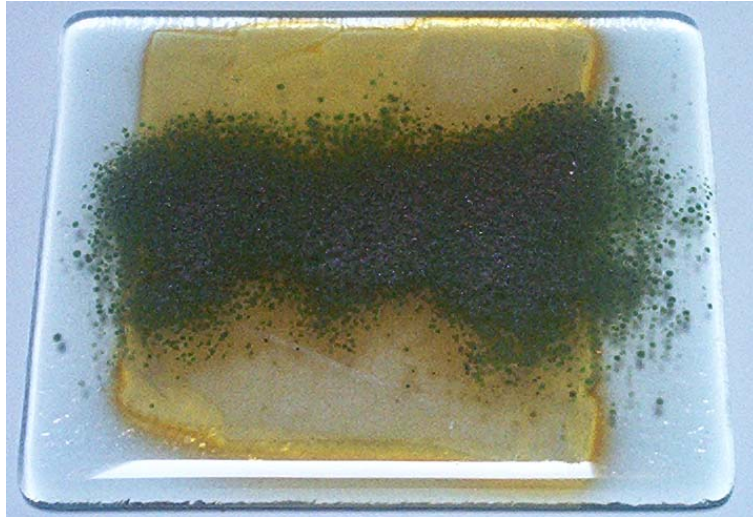
A la derecha, puede verse un vidrio float gris de Cristalería Española con pan de oro encima, medio desprendido. El mixtión 3 Aros se coció a 600° C y produjo este efecto. A la izquierda, el mismo vidrio con otro encima, después de cocerlo a 835°C (detalle). Se aprecian las descamaciones, pero no hay burbujas.



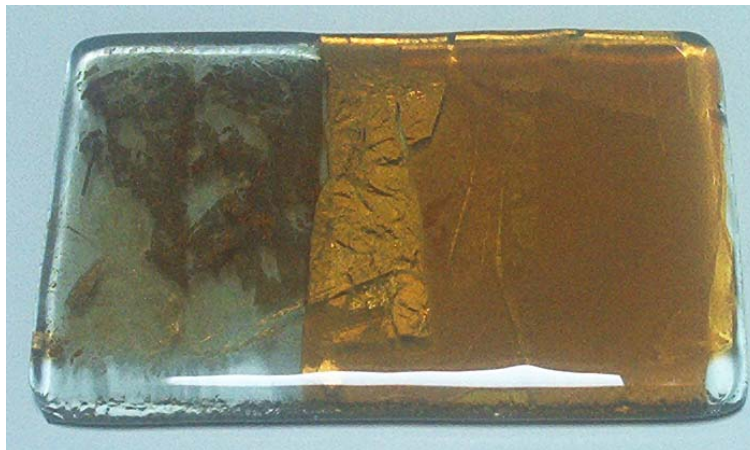
En la imagen de la derecha vemos un pan de plata superpuesto a un pan de oro, ambos pegados con goma arábica a un vidrio float transparente, que se ha cocido a 600°C para eliminar el adhesivo. A la derecha, el mismo vidrio reheado con otro encima, a 835°C (detalle). Se aprecian burbujas.

- Mixtión especial para altas temperaturas. En dos vidrios distintos, puse 4 capas de oro y plata respectivamente con ayuda de este mixtión, recubriéndolos parcialmente con un vidriado especial de la casa Degussa, que se usa en cerámica sobre el payón de plata¹³⁹. Los cocí directamente a la temperatura de fusión, sin hacer ninguna cocción previa para eliminar el mixtión, puesto que no se recubrió con otra lámina de vidrio que impidiera la salida de humos. Aunque no se protegió el pan metálico con otro vidrio, una vez cocido a la temperatura de fusión fue muy resistente al tacto.

¹³⁹ El payón de plata, según he comprobado, es un pan de plata ligeramente más grueso que el habitual, en hojas un poco más grandes.

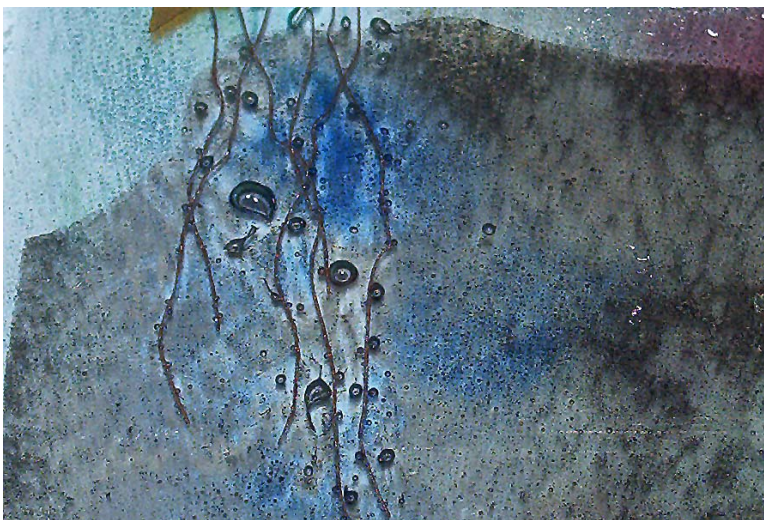


Esta prueba se ha realizado poniendo directamente sobre el vidrio, con ayuda de un mixtión cerámico, el pan de plata fina. Sobre ella se ha espolvoreado un esmalte transparente para cerámica, con un resultado opaco y poco uniforme. El pan de plata está totalmente fundido al vidrio de base, y tiene la transparencia que adquiere cuando se cuece entre vidrios.



En esta prueba, se ha cocido pan de oro solo (izquierda) y en combinación con pan de plata (derecha) entre dos vidrios. La diferencia con otras pruebas reside en el uso de mixtión cerámico para fijarlos. Se ha cocido directamente, sin necesidad de quemar primero el mixtión. No se han producido defectos por burbujeo del mixtión.

A modo de ejemplo incluyo al final de este epígrafe algunos fragmentos de obras que se han realizado utilizando sobre todo inclusiones metálicas de distinto tipo.



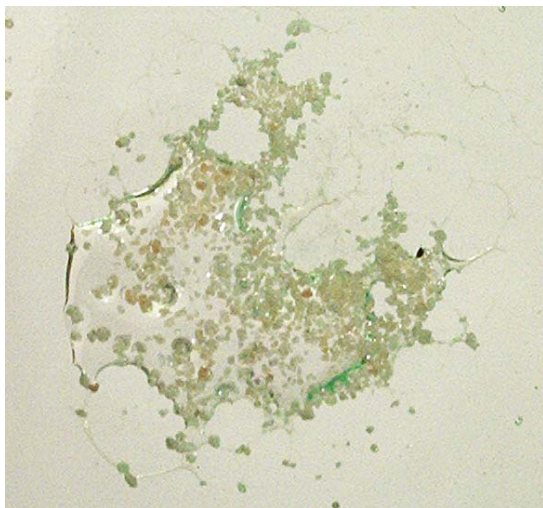
III.2.4.6. Arenas

Voy a denominar de esta manera un conjunto de materiales que se presentan pulverizados o granulados y que no son vítreos. Entre ellos, he experimentado con: sílice, arena de rutilo, micas de colores y piedra pómez en polvo.

ARENA DE SÍLICE.

La arena de sílice suele presentarse como óxido de silicio (SiO_2). Es uno de los principales componentes del vidrio. Sin embargo, esto no quiere decir que sea un material adecuado como inclusión. Una de las primeras inquietudes que produce mezclar vidrio con arena de sílice es la diferencia en el punto de fusión (1600°C)¹⁴⁰ y en el coeficiente de dilatación de la sílice, bastante más pequeño que el del vidrio.

Las primeras pruebas con arenas resultaron un desastre por las burbujas de aire ocluido que provocaban.



Detalle de una muestra de arena de sílice entre dos vidrios. El grosor de los granos de arena favorece que el aire quede atrapado, creándose unas burbujas irregulares.

Otras experimentaciones posteriores con arena de sílice mezclada con vidrio molido ofrecieron mejores resultados. También es interesante mezclar arena de sílice con esmaltes o con fritas en sándwich para crear texturas internas.

Muestra con arena de sílice mezclada con esmalte para cobre. Se han controlado las burbujas irregulares de aire atrapado porque el espacio ocupado por el aire en el caso de la imagen anterior, aquí lo ha llenado el esmalte. Además se produce un efecto de equilibrado de los coeficientes de dilatación (el esmalte para cobre tiene un coeficiente mucho mayor que el vidrio, y la sílice mucho menor)



¹⁴⁰ MATTHES, W. E. : *Vidriados cerámicos*. Omega, Barcelona, 1990, p.460

ARENA DE RUTILO.

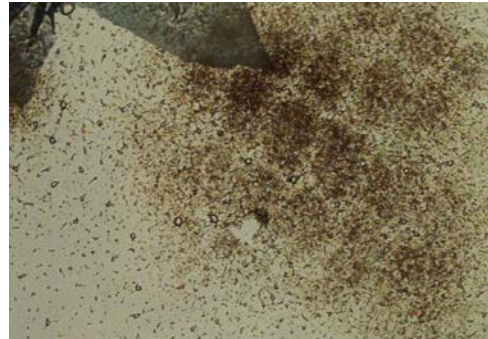
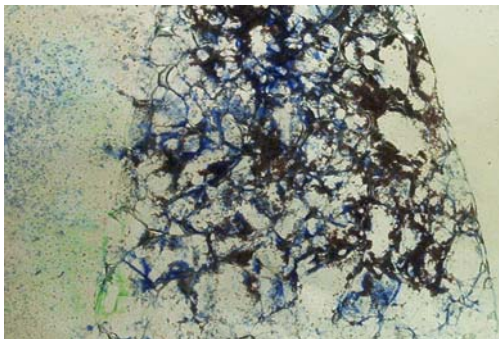
El rutilo (TiO_2) es óxido de titanio que se utiliza en cerámica para modificar el color y el coeficiente de dilatación de vidriados y esmaltes¹⁴¹. Tiene un aspecto pardo violáceo oscuro, con fuerte brillo metálico.

Los primeros resultados de la experimentación con rutilo fueron semejantes a los de la arena de sílice: las burbujas de aire atrapado eran tan grandes que dificultaban apreciar los brillos de este material.

Detalle de una muestra de arena de rutilo entre dos vidrios.
Como sucedía con la arena de sílice, el grosor de los granos favorece que el aire quede atrapado, creándose unas burbujas irregulares.



Por esta razón, intenté también las mezclas con vidrio molido, esmaltes y fritas. De este material puede decirse que resulta muy interesante cuando se utiliza en sándwich en muy pequeña cantidad, formando una fina película y asociado a otros elementos transparentes que se vitrifiquen, como esmaltes, fritas o el mismo vidrio de base molido.



Detalles de dos obras que tienen rutilo en sándwich. A la izquierda, mezclado con vidrio molido grueso y esmalte azul. A la derecha, tamizado sobre una trama, mezclado con esmalte marrón.

¹⁴¹ *Ibidem*, p. 461.

MICAS DE COLORES

Estas micas se suministran especialmente preparadas para el trabajo con vidrio, y se presentan en polvo y en varios tonos metálicos: dorado amarillo, dorado rojizo, plateado, azul verdoso.

La mica es un mineral que existe naturalmente por lo cual su composición exacta así como sus propiedades son variables según las diferentes calidades. Puede hendirse en capas uniformes hasta 0,005mm de espesor. La mica es transparente, resistente a las temperaturas elevadas y uno de los mejores aislantes eléctricos conocidos. Es químicamente inerte a la mayoría de las sustancias.

La mica -silicato hidróxido de potasio-aluminio, $H_2K Al_3(SiO_4)_-$, es un tipo de cuarzo natural, el cual surge en forma de láminas o placas comprimidas fácilmente separables. La mica se ha usado como pigmento en técnicas pictóricas y decorativas; si se muele hasta conseguir un polvo fino proporciona un ligero efecto iridiscente.

Como pigmento, la mica se utiliza combinada con otros materiales para lograr diferentes efectos¹⁴²:

- **Nacarado**

Finísimas partículas de mica son recubiertas con una delgada capa de blanco de titanio (dióxido de titanio, TiO_2) para producir matices nacarados, plateados o blanco-plateados. Muestran un brillo metálico en superficie.

- **Iridiscente**

Los pigmentos iridiscentes son muy similares a los nacarados, ya que derivan de polvo de mica cubierto con óxido de hierro y blanco de titanio, o únicamente con óxido de hierro, consiguiéndose un amplio rango de tonalidades doradas y cobrizas, desde el oro amarillo al cobre rojo. Comparados con los nacarados, sin embargo, son menos transparentes y se aproximan bastante a las tonalidades del oro, bronce y cobre auténticos.

- **Pigmenteos de interferencia**

Los pigmentos interferentes difieren de los dos grupos anteriores en que la combinación de los efectos de refracción y reflexión de la luz sobre el blanco de titanio que los cubre produce un efecto de interferencia de colores, de alguna manera similar a los colores del arcoiris que se ven en una película oleosa que flota sobre agua. En los pigmentos interferentes, la mica está recubierta de blanco de titanio en un grosor específico, lo cual permite sólo reflejarse una estrecha banda del espectro: como consecuencia, el ojo sólo ve un color del espectro, verde, por ejemplo. El color de interferencia resultante se ve mejor cuando la superficie pintada está inclinada, o es vista desde un determinado ángulo. El color es también más visible si se aplica sobre un fondo oscuro.

¹⁴² Información obtenida a partir de la página web de la empresa productora de pigmentos Kremer, Alemania: <http://www.kremer-pigmente.de/spanisch/sppigmen12.htm>

La compatibilidad con el vidrio no debe preocuparnos, ya que utilizaremos polvo de mica muy fino y en capas muy delgadas, casi transparentes. De este modo se compensa su elevada resistencia a la compresión 190-280 (kg/mm²) y su resistencia a la tracción 170-300 (kg/mm²). El coeficiente de dilatación térmica es muy bajo, tan solo $3,6 \times 10^{-7}$ frente a los 90×10^{-7} del vidrio.

Utilizar este material correctamente supone solucionar ciertas dificultades. Si se pone demasiada cantidad de mica entre dos vidrios tiene un aspecto polvoriento y no se integra con el vidrio al fundirse; además puede originar burbujas. Si se espolvorean, es muy difícil poner sólo una pequeña cantidad, porque estas micas están molidas muy finas, y se adhieren y embotan el tamiz. Si éste es muy fino, no cae la mica; si es grueso, cae una gran cantidad. Se puede probar a extenderla sobre el vidrio con ayuda de un diluyente, que puede ser simplemente agua o alcohol. Pero es también difícil poner una cantidad uniforme, ya que tanto el agua como el alcohol son líquidos que, debido a su tensión superficial, forman gotas en la superficie del vidrio, haciendo que la mica también se agrupe en ciertas zonas. Por otra parte, si se contaminan con bórax (es fácil, puesto que es un antidesvitrificante que se utiliza con frecuencia) el aspecto metálico desaparece, los colores se modifican y aparecen burbujas.



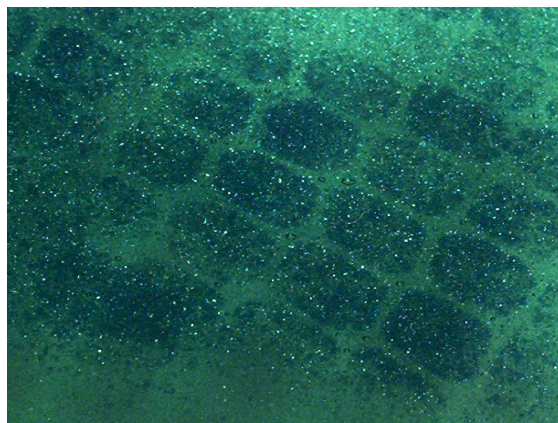
La muestra de arriba (mica dorada rojiza) se ha realizado poniendo la mica seca a la izquierda y con agua a la derecha. Los efectos son totalmente distintos. En la muestra de abajo (mica dorada amarilla) el agua se extendió por toda la muestra. Forma una película de aspecto metálico.





La mica verde azulada (arriba) da al vidrio un aspecto sucio, traslúcido. Resulta difícil de controlar. Sin embargo, la mica plateada tiene un fuerte brillo metálico que respeta la transparencia del vidrio.

Las dificultades para extender las micas pueden solucionarse mezclando estas sustancias con otras. Tal como sucedía con las arenas de sílice y rutilo, la mica demuestra ser un material muy interesante cuando se utiliza mezclado con alguna materia vítrea, como vidrio molido, tanto en superficie como en sándwich. El resultado es una pátina metálica coloreada, con una calidad lisa en la superficie, y con una fina capa de burbujas entre vidrios.

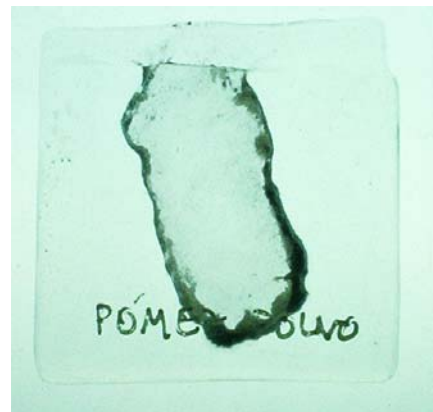
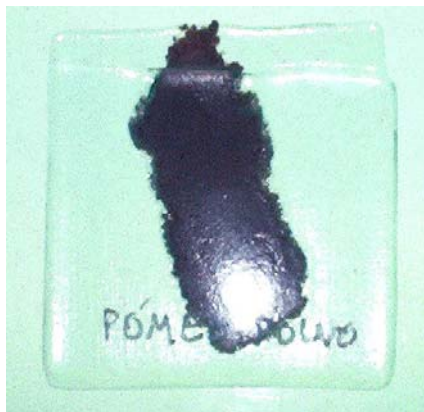


Fragmento de una obra en la que se ha usado mica verde mezclada con esmalte azul (en la capa más profunda, con la textura de una redecilla) y mica plateada mezclada con polvo de vidrio transparente en la capa más superficial.

PIEDRA PÓMEZ EN POLVO

La piedra pómez en polvo, o pumicita, es un compuesto de trióxido de sílice y trióxido de aluminio, entre otros componentes: 71% de SiO_2 , 12.8% de Al_2O_3 , 1.75% de Fe_2O_3 , 1.36% de CaO , 3.23% de Na_2O , 3.83% de K_2 , 3.88% de H_2O . Su punto de ablandamiento ronda los 900°C , por lo que puede considerarse un material refractario. La temperatura que utilizamos para fundir el vidrio (menos de 900°C) no consigue fundirla.

Este material tan interesante como separador y para realizar moldes es poco atractivo como elemento de inclusión. Entre dos vidrios tiene siempre un efecto plástico terroso y seco, especialmente cuando se pone en gran cantidad; si se pone en la superficie del vidrio, ésta queda áspera, mate y opacificada¹⁴³. Sin embargo, puede conseguirse un volumen vacío en el interior del vidrio, una pseudo-burbuja de aire siempre que preveamos una zona por donde pueda extraerse el polvo de pómez una vez cocida la obra.



En la primera imagen, se ha realizado una inclusión de pómez molida entre dos vidrios. El polvo está dentro, tiene un aspecto opaco y denso. En la segunda imagen, se ha extraído ese polvo a través de una rendija a la que se dio forma al poner la piedra pómez entre los dos vidrios. El resultado es una burbuja de aire, en cuyos bordes aún se aprecian restos de polvo.

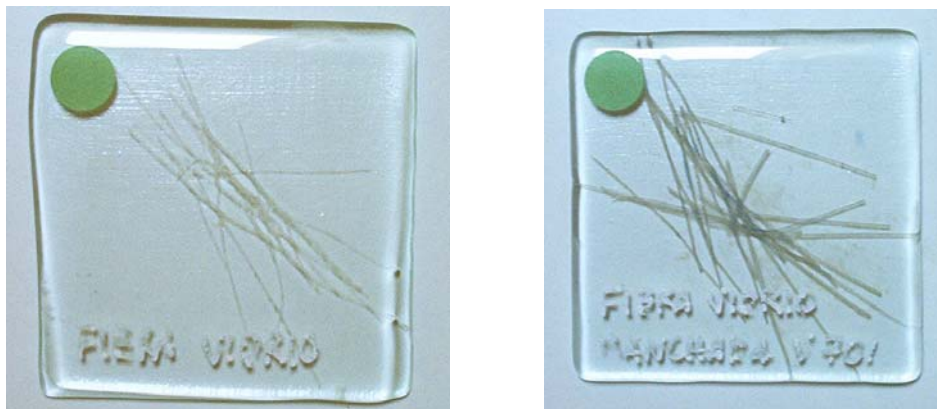
¹⁴³ Todo lo contrario ocurre cuando se utiliza como separador o componente de un molde: es uno de los materiales que consigue que el vidrio tenga una superficie de contacto con la base más brillante y lisa.

III.2.4.7. Fibra de vidrio

Líneas y tramas pueden conseguirse en el interior del vidrio utilizando este material¹⁴⁴. Conviene utilizarlo en pequeñas proporciones, porque puede crear zonas de tensiones al diferir su coeficiente de dilatación con el del vidrio float (utilizado en la mayoría de las pruebas de esta tesis) y con otros tipos de vidrios especiales para fusión.

La fibra utilizada en las pruebas que se mencionan a continuación no ha producido tensiones. Se trata de una fibra de vidrio corta¹⁴⁵ (unos 10 cm de longitud, y de 7 a 15 micras de diámetro) para uso de aislamiento, presentada en forma de manta, que ha sido deshilada para obtener fibras desunidas.

Puede utilizarse sola, en cuyo caso deja una marca blanquecina bien visible, o impregnada de color. Un efecto muy sutil se consigue introduciendo la fibra en esmalte cerámico de color, en polvo seco. También puede conseguirse un efecto más intenso: para ello basta con diluir esmalte cerámico en agua y empapar la fibra en esa mezcla. El inconveniente, sin embargo, es que aumenta el grosor de la fibra de vidrio, por lo que es más frecuente que se produzcan pequeñas burbujas de aire ocluido; por tanto, hay que tener en cuenta esta posibilidad al diseñar la obra, para incorporar estas formas de aire al resultado final. Aún así, conviene dejar que el esmalte que da color a la fibra se seque totalmente antes de introducirla entre dos vidrios, para evitar que el agua cause la formación de burbujas o de zonas blanquecinas tras la cocción.



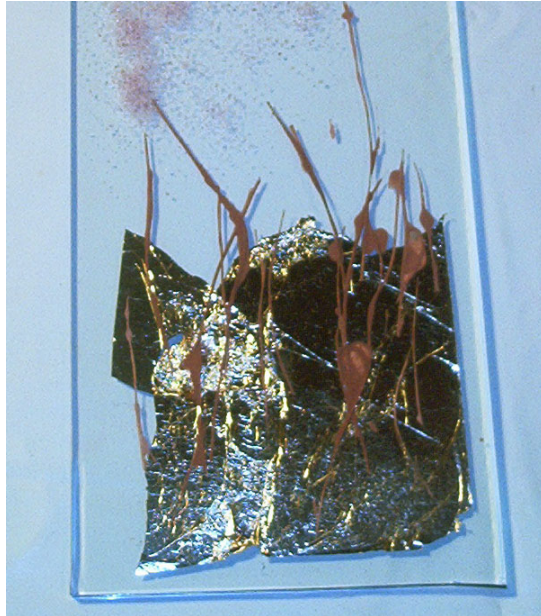
La prueba de la izquierda contiene únicamente fibra de vidrio sin color. A la derecha puede verse una muestra en la que la fibra se ha introducido en polvo seco de esmalte para vidrio Degussa 701. La línea es algo más definida, aunque no se aprecia completamente el tono azul.

¹⁴⁴ BRADLEY WALKER, M. (2000): *Warm Glass*. Four Corners International, Clemmonds

¹⁴⁵ Según datos de FERNÁNDEZ NAVARRO (1991), p. 236.

La fibra de vidrio en unión esmaltes y panes metálicos proporciona buenas posibilidades expresivas.

La fibra de vidrio puede utilizarse como elemento de inclusión no sólo en técnicas de fusión sino también de colada.



(Izquierda) Estas dos imágenes muestran un fragmento de una obra creada utilizando entre otros recursos la fibra de vidrio impregnada en esmalte cerámico. Arriba vemos la primera lámina de la obra, con una capa de pan de oro falso y fibra de vidrio; más tarde se añadieron otras dos láminas con fibra de vidrio de otro color y formas de esmalte gris y azul pintado con pincel. En la imagen de abajo puede verse el resultado una vez cocida la pieza.



(Derecha) Fragmento de una obra en la que se han espolvoreado diferentes tonos de esmaltes y fritas sobre fibra de vidrio.



Fibra cerámica

En el capítulo siguiente (*III.2.5. Creación de volumen mediante las técnicas de fusión. Termoformado y fusión en relieve*, p. 344) se explican más detenidamente las características de la fibra cerámica. Mencionaré aquí únicamente que es un producto refractario muy ligero, constituido por fibras de sílice y alúmina aglutinadas utilizando distintas colas orgánicas.

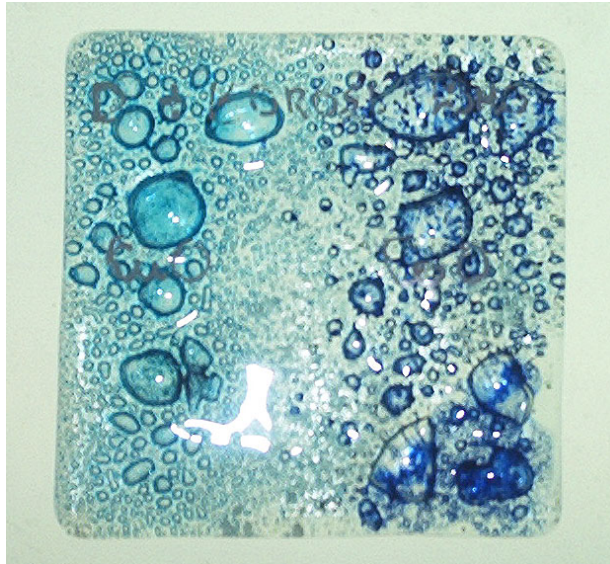
Es necesario tener precauciones por las posibles incompatibilidades entre la fibra cerámica y el vidrio. Sin embargo, en las pruebas que he realizado con este material no he hallado en las obras de vidrio tensiones que haya podido achacar a la fibra cerámica.

Para crear volúmenes internos puede usarse de dos modos: como inclusión, poniendo fragmentos de fibra dentro de la obra de vidrio, y como elemento interpuesto entre dos láminas de vidrio que, una vez extraído, deja una burbuja de aire. Ambas posibilidades pueden verse en la muestra siguiente.

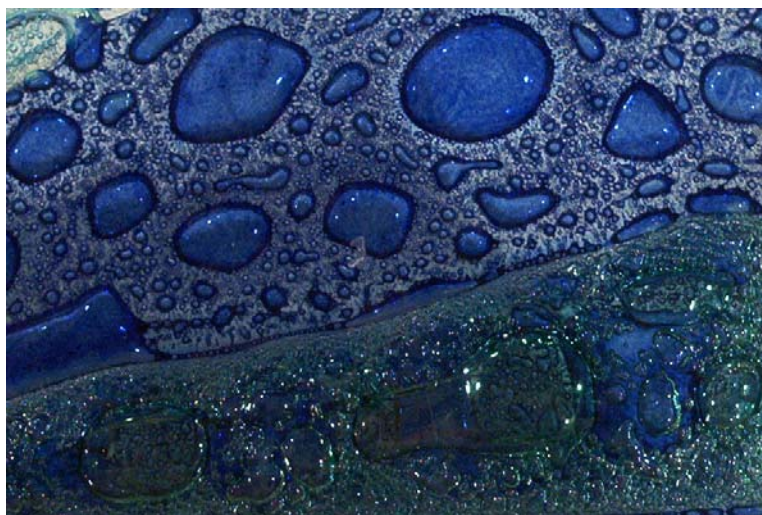


III.2.4.8. Inclusiones de aire.

Las burbujas de aire pueden constituir también inclusiones puesto que visualmente funcionan como elementos espaciales en el interior del vidrio. En el capítulo III.2.3. *Búsqueda de una paleta de color*, se expone cómo algunos esmaltes y óxidos producen burbujas de distintos tamaños (ver p. 255). En este caso, se trata de pequeñas burbujas en color.



El mismo efecto se consigue con los llamados vidrios lacados o vidrios esmaltados, que presentan una cara sobre la que, en fábrica, se ha pulverizado esmalte de color. Cuando se cuecen con la cara esmaltada hacia arriba, la superficie queda lisa y homogénea. Sin embargo, cuando se cuecen con el lado esmaltado cubierto por otro vidrio transparente, o hacia abajo sobre otro vidrio transparente, producen una gran cantidad de burbujas de tamaño variable. Esto puede utilizarse como recurso expresivo cuando quiere conseguirse una superficie determinada con burbujas de color.



También puede encerrarse entre dos vidrios alguna sustancia que, con el calor, reacciones y produzca gases. El bórax puede actuar así, y también en bicarbonato sódico. Sin embargo, controlar esta última sustancia es muy difícil: una pequeña cantidad produce unas bolas de aire enormes, a lo que se suma el hecho de que los granos de bicarbonato no siempre desaparecen tras la cocción, dejando un velo blanquecino poco interesante.

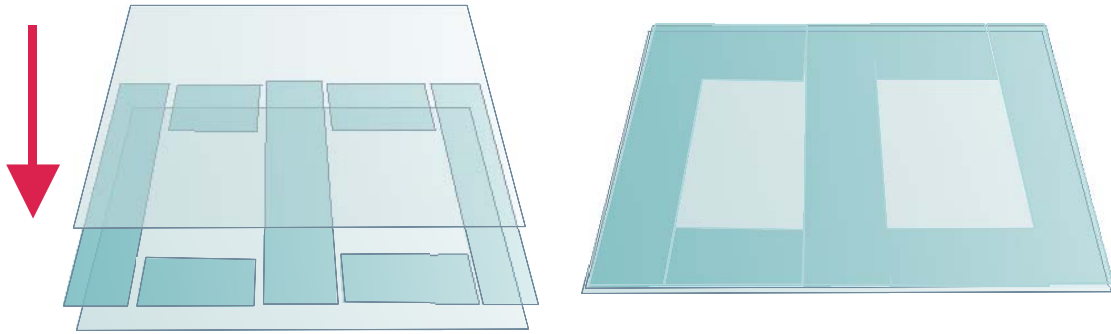


La utilización de mallas metálicas gruesas en el interior del vidrio también propicia la aparición de burbujas de aire, del mismo tamaño y distribuidas de un modo regular.

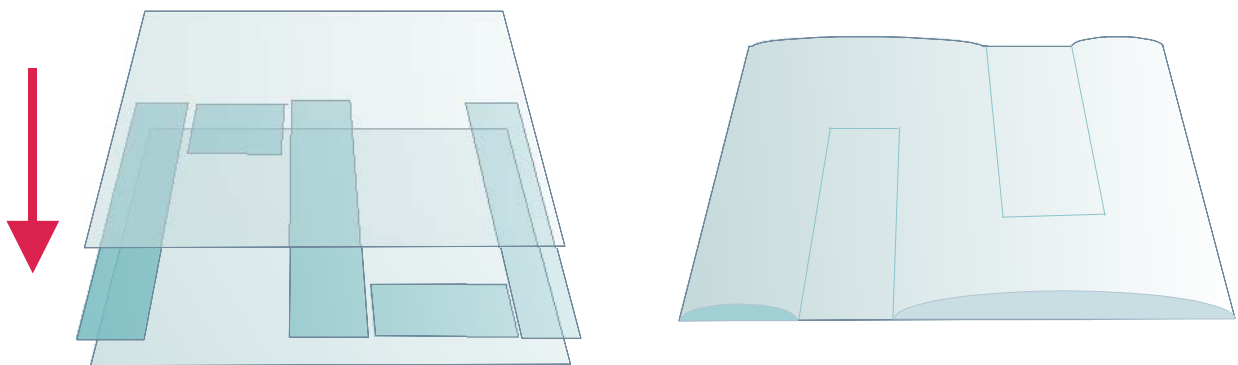


(Izquierda) Malla incluida en una obra de vidrio; las burbujas más grandes, distribuidas regularmente se deben a la forma de la malla metálica; las pequeñas se han formado por espolvorear una pequeña cantidad de bicarbonato entre los vidrios antes de meter la obra en el horno.

Es más segura otra técnica que ha dado en llamarse “de burbuja controlada”¹⁴⁶. Para realizarla no es necesario utilizar fundentes ni esmaltes; nos basta usar láminas de vidrio transparente. La técnica consiste en cortar de determinadas formas las láminas de vidrio transparente de modo que, al poner unas sobre otras, dejen espacios de aire ocluido.

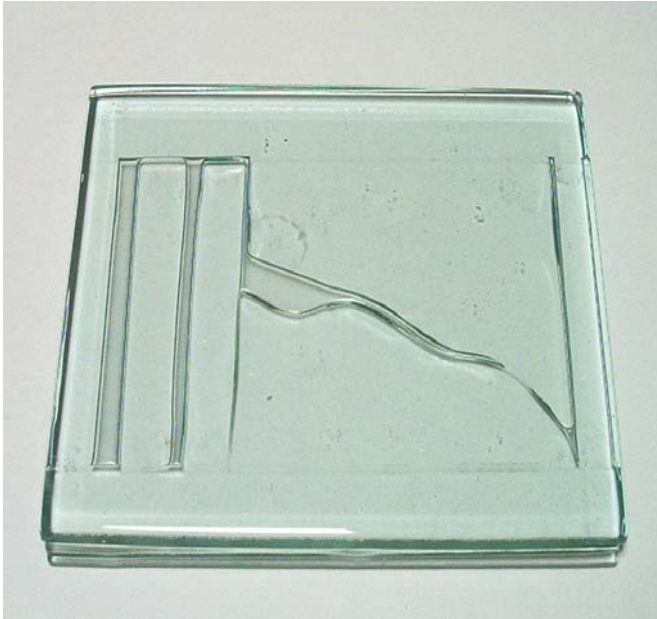


Arriba, a la izquierda, esquema de la colocación de las piezas de vidrio para formar burbujas controladas. En este caso, la obra tiene tres niveles: el de base, que cierra la obra por abajo; el intermedio, donde unas piezas dejan espacios entre ellas, y el superior, que cierra la obra por arriba, de modo que el aire no pueda salir. A la derecha, resultado después de la cocción.

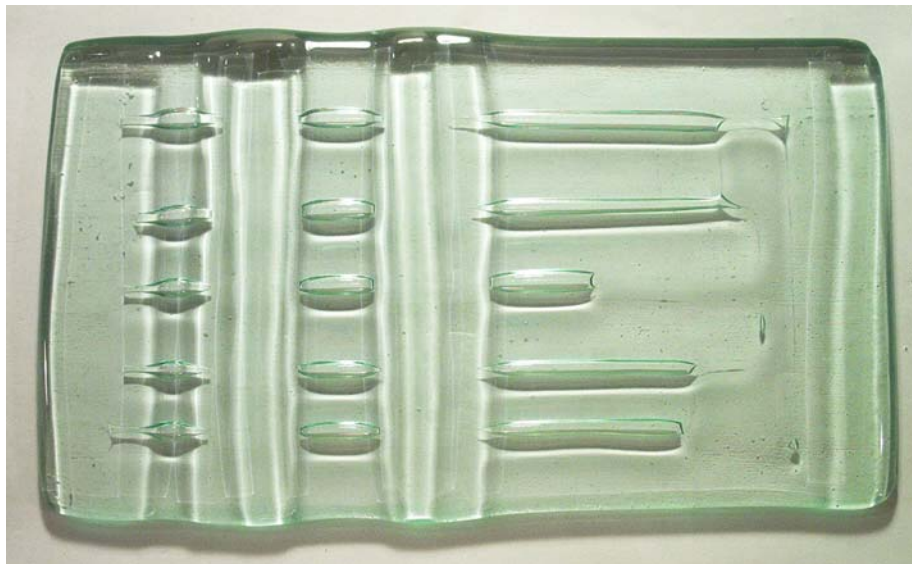


Sobre estas líneas se muestra, a la izquierda, un esquema semejante al anterior, pero que no ocluye el aire; el resultado no son burbujas controladas, sino formas en relieve.

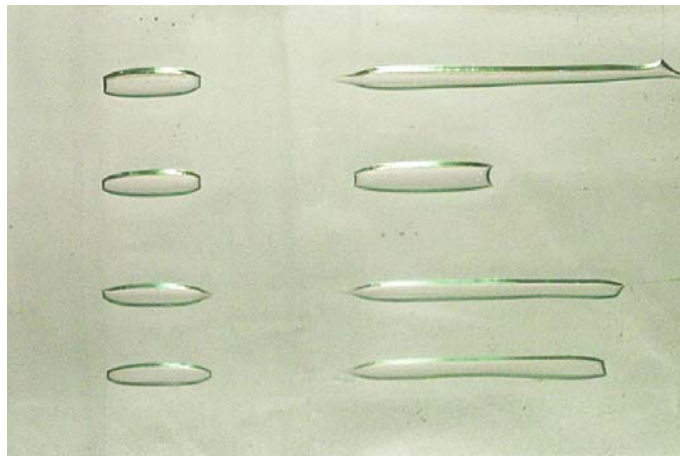
¹⁴⁶ Miriam di Fiore, curso *Fusión y termoformado*, CNV de la Granja de San Ildefonso, mayo de 1997.



(Izquierda) Pieza creada con la técnica de burbuja controlada. Se aprecia la forma de trabajar: tres vidrios planos en sándwich, de los cuales el del centro está cortado de manera que el aire queda dentro ocluido.

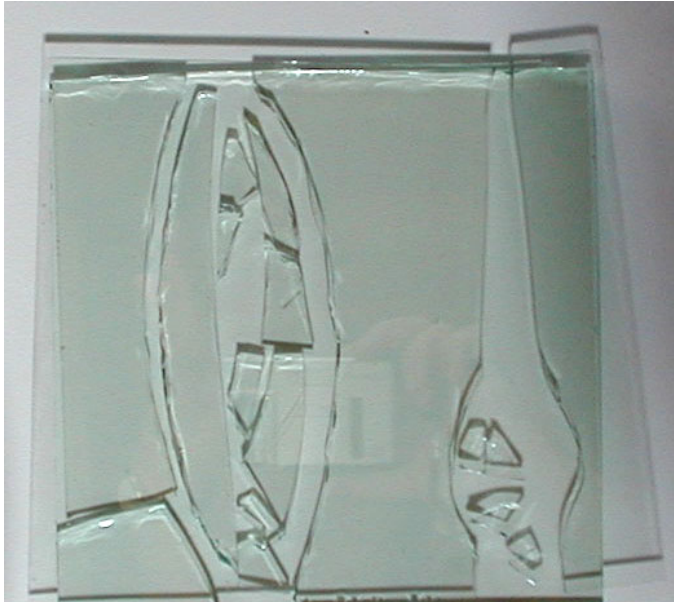


(Derecha, arriba y al lado). Esta pieza está constituida únicamente de tiras de vidrio superpuestas, colocadas de modo que el aire queda atrapado entre sus huecos. Arriba pueden apreciarse los distintos grosores del vidrio, mientras que el detalle de al lado muestra la obra al trasluz.



En los trabajos con burbuja controlada es necesario tener precaución en dos momentos:

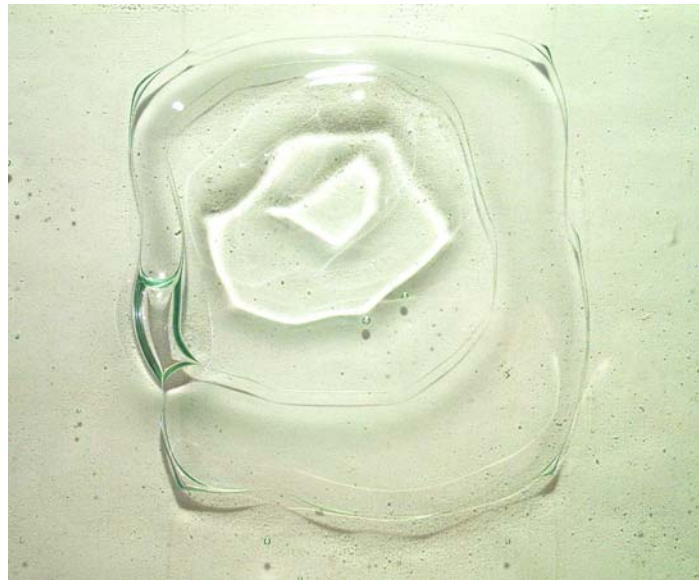
- Al preparar la obra, para diseñarla de manera que el aire quede efectivamente ocluido, y no encuentre espacios por los que escapar en el horno.



Vista superior de la preparación de una obra, en la que se están cortando y colocando los vidrios de la capa intermedia de modo que exista cierta separación entre ellos; aún falta un proceso más: cerrar con los huecos por donde puede escapar el aire con fragmentos de vidrio. Todas las piezas de esta composición pueden fijarse con un poco de pegamento para evitar que se muevan al llevarlas al horno.

- Al cocer la obra, para que un exceso de temperatura no fluidifique al vidrio lo bastante para permitir que el aire se mueva del sitio asignado, o busque espacios por donde escapar.

(Derecha) Esta obra se calentó en exceso; el vidrio, muy fluido, cayó por efecto de la gravedad sobre el espacio que debía estar destinado al aire, empujando a éste hacia una gran burbuja que puede verse a la izquierda del motivo central.

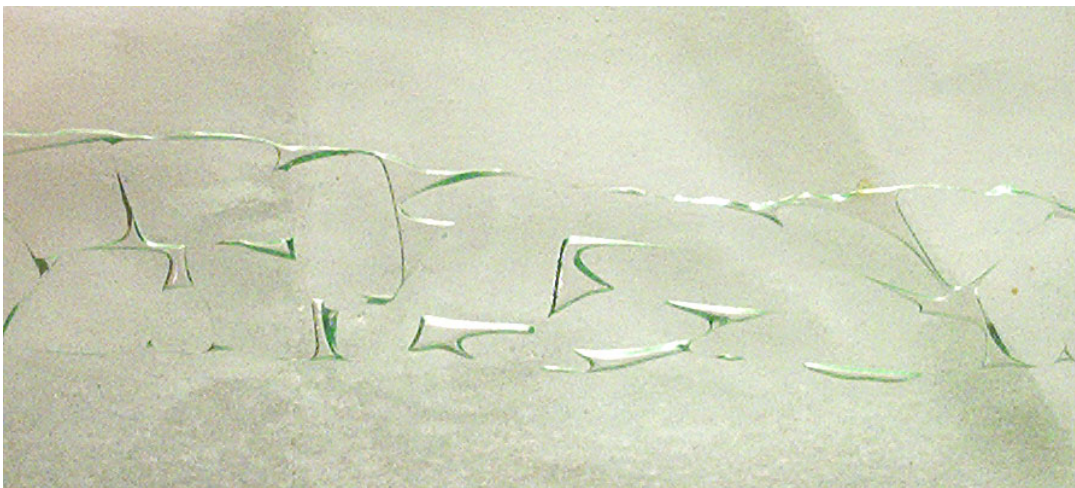


La temperatura más adecuada es la que se utiliza para fusión en relieve (ver III.2.1.1. *Los distintos momentos del proceso de trabajo en las técnicas de fusión*, p. 178 y sigtes.) sobre creación de volumen mediante técnicas de fusión). Es una temperatura más baja que la de fusión total, y mantiene las formas de los vidrios que están situados en la cara superior de la obra.



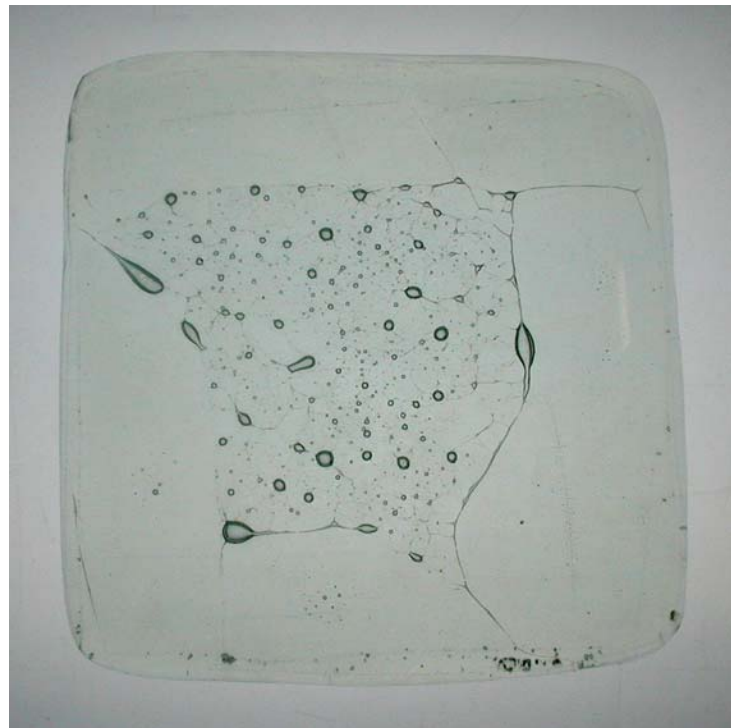
En esta pieza coexisten la burbuja controlada (izquierda) con la fusión en relieve (derecha), mostrando la similitud de las temperaturas requeridas para ambas técnicas.

Un caso especial de la burbuja controlada es el uso de vidrio transparente grueso molido, utilizado en sándwich entre otros vidrios, que produce una textura particular al encerrar diversas burbujas de aire en su interior.





Detalle de la preparación de una obra de burbuja controlada con vidrio molido. Abajo, el resultado después de hornearla.



La creación de burbujas controladas también puede llevarse a cabo cociendo en la superficie de la obra piezas de vidrio procedentes de casco, cuyas formas convexas atrapan el aire en su interior. En este caso es necesario asegurarse previamente de que los dos vidrios que se fundirán juntos son compatibles.



Cuando se crea un relieve en una lámina de vidrio, ya sea por algún procedimiento de termoformado o porque se ha grabado algún grafismo en la superficie del vidrio, puede conseguirse burbuja controlada fundiendo ese vidrio con otra lámina encima. Esta lámina, al fundirse, ocluirá la salida del aire en zonas concretas, creando una estructura de burbujas.



Esta imagen está creada grabando en el vidrio con una broca de diamante, y después fundiéndolo debajo de otro vidrio. Se crea una película muy sutil de burbujas sobre el dibujo.

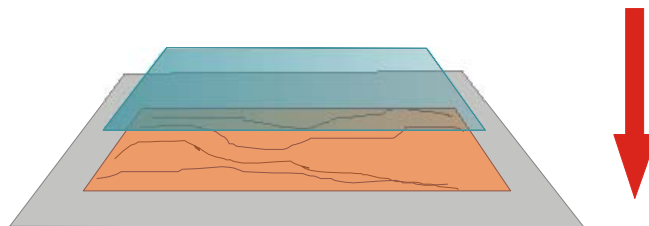
III.2.5. CREACIÓN DE VOLUMEN MEDIANTE LAS TÉCNICAS DE FUSIÓN. Termoformado y fusión en relieve.

Las técnicas de fusión de vidrio que estamos estudiando son principalmente planas; esto es debido a la naturaleza del vidrio, a su viscosidad una vez caliente –por tanto, a la necesidad de mantenerlo horizontal dentro del horno para evitar que gotee o se escurra-, y a la utilización de vidrios planos en la composición de este tipo de obras. Ya vimos en el capítulo III.2.4. *Volumen interno en el vidrio* (ver p. 290 y sgtes.) que puede conseguirse una percepción del volumen interno de las obras mediante técnicas de inclusión. En este capítulo trataremos otras técnicas que contribuyen a crear volumen en las obras hechas mediante técnicas de fusión. En los procedimientos de trabajo que describiré, el volumen no estará dentro de la masa de vidrio, sino en su superficie, directamente accesible al tacto. Con estos métodos de trabajo puede hacerse desde una ligera textura a un relieve pronunciado; sin embargo no hay que olvidar que las técnicas de fusión y termoformado tienen limitaciones que impiden dar a los vidrios formas verticales, como por ejemplo, el cilindro.

Las técnicas de creación de relieve pueden agruparse en dos grandes apartados: en el primero estarían aquellas cuyos volúmenes se encuentran bajo la obra, tomando siempre como referencia la postura de horneado; en el segundo, las que implican crear volumen en la cara superior de la obra.

III.2.5.1. Texturas y relieves bajo el vidrio. Técnicas de termoformado.

Estas técnicas corresponden a la utilización de moldes (entendiendo este término en su acepción más amplia, como *pieza que reproduce en negativo la forma que quiere darse a la figura que se trata de reproducir*¹⁴⁷) puestos bajo la obra de vidrio cuando se va a hornear ésta. El molde puede ser complejo, o simplemente un objeto cuya forma pretendemos que quede impresa en la obra. Sin embargo, siempre será horizontal, debido a las limitaciones impuestas por el trabajo con técnicas de fusión. El vidrio, al calentarse dentro del horno, se ablandará y copiará la forma del molde.



¹⁴⁷ FATÁS, G. y BORRÁS, G.M. (1990): *Diccionario de términos de arte y elementos de arqueología, heráldica y numismática*. Alianza Editorial, Madrid, p. 163

El termoformado es el proceso de calentar el vidrio y ablandarlo lo bastante para permitir a la gravedad deformarlo hasta que tome la forma del molde¹⁴⁸. Puede variar desde la simple texturización, hasta la formación de volúmenes de diversa profundidad.

Aunque el principio será siempre el mismo (calor más gravedad), existen diversos tipos de termoformado. Utilizaré para definirlos la terminología en inglés (más difundida) acompañada por su traducción en español.

- MIRBECK, X. (1992), indica que el termoformado puede realizarse según dos procedimientos¹⁴⁹: **sobre una forma preparada**, o **por gravedad**. En el primer caso se incluyen todos aquellos procesos en los que el vidrio adquiere su forma sobre un molde (fig. 1, 5, 6), copiando los volúmenes y textura de éste; el segundo tipo engloba a aquellos modos de trabajo en los que el vidrio está sólo parcialmente sujeto por soportes (fig. 2, 3), adoptando su forma al caer las partes no sujetas del vidrio, como sucede con las técnicas de estiramiento (*en goutte*, o *drop-out*, fig. 4) que se explicarán en este capítulo.
- MORMAN, S. (1990)¹⁵⁰, distingue entre dos tipos de termoformado, en atención al tipo de molde usado: **slumping**¹⁵¹, cuando el vidrio caliente toma forma dentro de un molde (por tanto, un molde *hembra*, fig. 1 y 5), y **draping**¹⁵², cuando el vidrio toma forma alrededor del molde (por tanto, un molde *macho*, fig. 2 y 6).
- LUNDSTROM, B. (1991)¹⁵³, adopta una terminología parecida a la de MOORMAN, pero con un significado diferente. Según él, “**slumping** y **sagging** son dos procesos del uso del calor y la gravedad para cambiar la forma de un vidrio plano en una forma tridimensional”, pero el primero implica la deformación del vidrio “sin un cambio notable en el grosor de la sección transversal” de éste (fig. 1 y 3). Sin embargo, “**sagging** es la caída hacia abajo de vidrio a medida que se calienta, causada por su propio peso sin apoyo”, y en este proceso el grosor de la sección transversal del vidrio varía notablemente debido al estiramiento (fig. 2 y 4). Existe una tercera manera de termoformar (LUNDSTROM, B. y SCHWOERER, D. 1983, pag. 85), llamada **bending**, de uso industrial, que consiste en termoformar con un peso añadido aplicado sobre el vidrio, causando que éste se deforme antes de lo que lo haría sólo por su propio peso, y a una temperatura más baja.

¹⁴⁸ MOORMAN, S. (1990), p. 72.

¹⁴⁹ P. 58.

¹⁵⁰ Op.cit., p. 72.

¹⁵¹ En inglés, *to slump*, caer

¹⁵² En inglés, *to drape*, colgar una tela

¹⁵³ P. 81



FIGURA 1



FIGURA 2



FIGURA 3

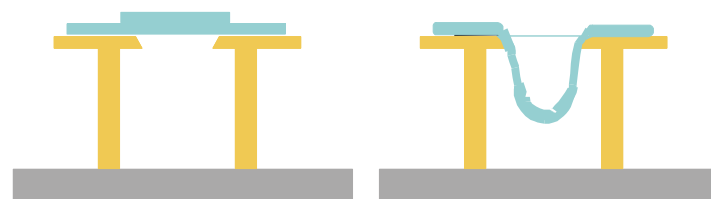
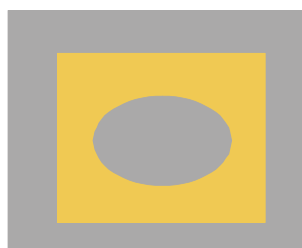


FIGURA 4



Vista superior del molde
para estiramiento

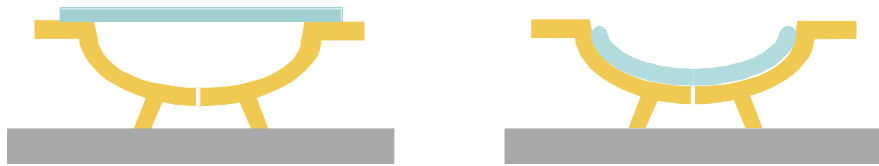


FIGURA 5



FIGURA 6

No todos los vidrios se comportan de la misma manera durante el proceso de termoformado. A menudo se distingue entre vidrios duros y blandos¹⁵⁴. Los vidrios más duros suelen termoformarse a temperaturas más altas y más lentamente que los vidrios blandos. El vidrio de ventana, float, es un vidrio duro. Si se introduce en el horno para termoformarlo en la misma hornada (a la misma velocidad y temperatura que un vidrio blando, por ejemplo, un Bullseye negro opal), veremos que la forma que adopta es menos profunda, y que, en la temperatura de termoformado, no llega ni siquiera a redondear completamente las aristas de corte¹⁵⁵. La dureza de los vidrios depende de su composición, y no guarda relación con el coeficiente de dilatación, por lo que un mismo fabricante puede tener vidrios duros y blandos, compatibles entre sí.

III.2.5.2. Características generales de los moldes.

En termoformado es necesario prever el comportamiento del vidrio dentro del horno cuando se ablande y caiga sobre el molde. Esto influirá en cómo construyamos el molde, y en cómo pongamos el vidrio sobre el molde.

Cuando calentamos el vidrio suficientemente para que se ablande, éste empieza a caer sobre el molde; las primeras zonas que caen son aquellas que no tienen apoyo. Cuando hay varias zonas sin apoyo, caen primero las más grandes.

Moldes cóncavos y convexos que contienen al vidrio completamente.

Los moldes deben estar libres de enganches, es decir, es necesario asegurarse de que el vidrio, una vez horneado, tendrá salida.

¹⁵⁴ LUNDSTROM, B. (1991), p. 82

¹⁵⁵ Experimento realizado por CHANTAL ROYANT, curso en la Fundación CNV de la Granja de San Ildefonso, Agosto 1996.

Aunque algunos materiales para construir moldes son porosos, conviene asegurarse de que el aire no quedará ocluido. Para ello conviene realizar en las zonas más profundas algunos agujeros de ventilación. Si se utiliza separador, hay que asegurarse de que éste no obstruya esos agujeros.

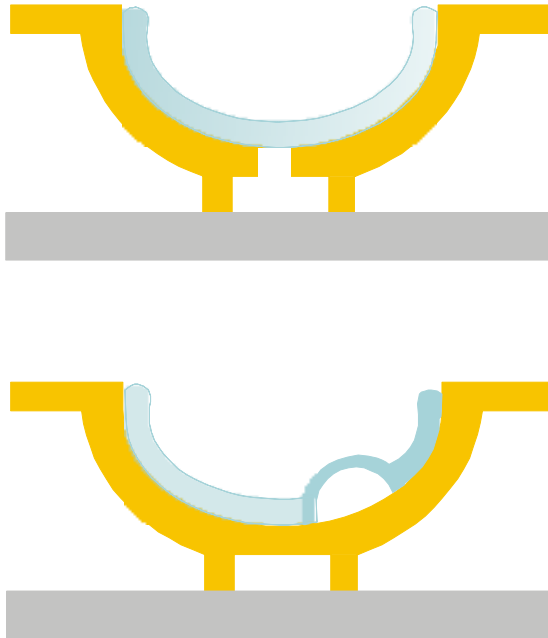


FIGURA 7. Vista en corte.

Los gráficos de la izquierda muestran lo que ocurriría con y sin agujero de ventilación en un molde no poroso. Arriba, se ha practicado un agujero en la zona más profunda del molde, y el vidrio se ha termoformado correctamente. Abajo, no hay agujero y se ha formado una gran burbuja de aire ocluido.

En el caso -más frecuente en escultura- de que haya más de una forma cóncava profunda, habrá que hacer cuantos agujeros sean necesarios para asegurar la salida correcta del aire.

Otra cuestión importante al diseñar y hacer moldes para termoformado es prever cómo se sustentará el molde a sí mismo dentro del horno. En primer lugar, el molde debe ser estable. Algunos autores recomiendan separar el molde de la bandeja del horno para permitir que el calor pueda moverse por debajo de éste; se puede hacer poniendo bajo el molde algún accesorio habitual para cocer cerámica, pero también sirven trozos de ladrillo refractario o de fibra cerámica. En todo caso, siempre hay que recordar que esos elementos deben únicamente separar el molde del suelo del horno, y no obstruir el paso del aire caliente por debajo. Los soportes deben ser lo más ligeros que sea posible, para que no formen una masa térmica que provoque un choque tanto en el molde como en el vidrio.

El molde debe ofrecer un apoyo adecuado a las láminas de vidrio que pongamos encima para evitar que, durante el calentamiento, el vidrio se desplace sobre él inadecuadamente y quede descentrado, o que caiga sobre otras obras o sobre las resistencias del horno. Para ello se puede hacer lo siguiente:

- En los moldes cóncavos profundos, hay que añadir un soporte perimetral o labio para que el vidrio, que previsiblemente será mayor que el molde, pueda sujetarse. Los esquemas de los moldes de la figura 7 tienen ese labio. A continuación se muestran unos ejemplos de errores por falta de apoyo para el vidrio.

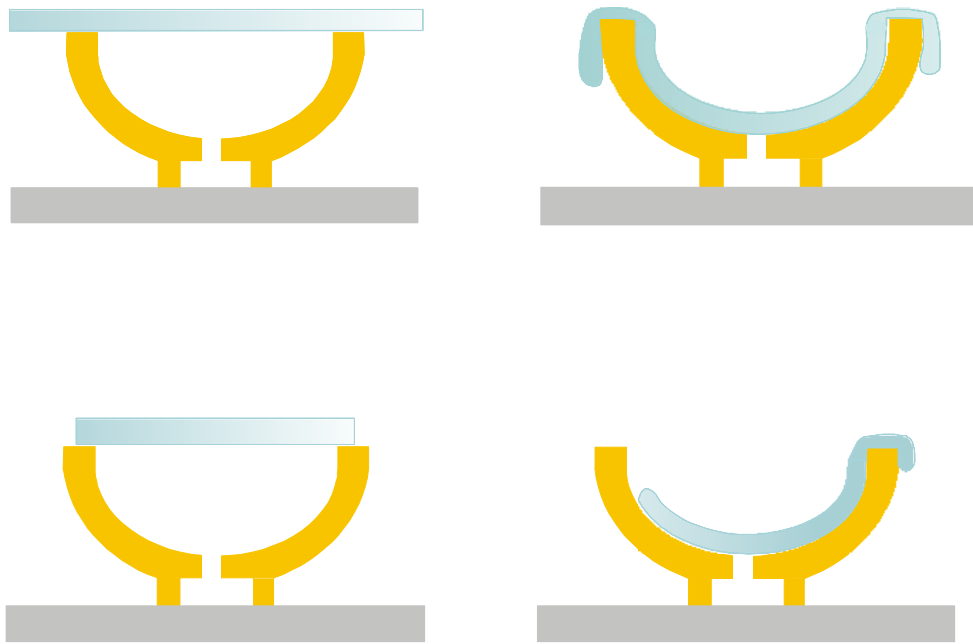


FIGURA 8: MOLDES SIN LABIO

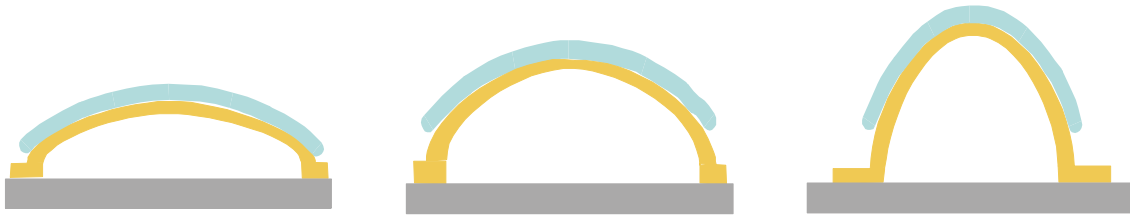
Arriba, de izquierda a derecha: secuencia antes y después de hornear una pieza de vidrio más grande que el diámetro del molde; el vidrio cae no sólo en el centro, sino también en los lados. Abajo, de izquierda a derecha: secuencia antes y después de hornear una pieza de vidrio más pequeña que el diámetro del molde, pero con poca zona de apoyo; el vidrio se descentra y queda irregularmente distribuido en el molde.

- En los moldes convexos, se puede rodear el vidrio con barreras de fibra cerámica o, si esto no fuera posible, poner el molde sobre un trozo de fibra rígida en la que se clavarán algunas puntas alrededor del molde, para que sujeten el vidrio si al calentarse se descentra, evitando así que se derrame fuera de su lugar¹⁵⁶.

Si entendemos por *slumping* cualquier técnica de termoformado en la que la el grosor de la sección del vidrio no sufre ninguna alteración, son pocos los moldes sencillos que pueden hacerse en una sola horneada, ya que la temperatura no debe subir demasiado. Sin embargo, cuando la temperatura es alta puede hacerse cualquier forma que la fuerza de la gravedad permita, pero se producirán estrechamientos en las paredes de la obra.

Cuando queremos mantener constante el grosor del vidrio, las formas muy profundas no pueden hacerse de una sola vez. Hay que utilizar moldes con formas sucesivamente más cerradas, tanto si son cóncavos como convexos.

¹⁵⁶ MOORMAN, S. (1990), p. 74.



Moldes en los que el vidrio cae libremente desde soportes.

1. **El soporte está en el centro.** (Fig. 9) El vidrio se dobla formando colgadas parecidas a las de la tela. Hay que calcular la altura del soporte si no queremos que el vidrio llegue a tocar el suelo. Las partes del vidrio que se doblarán antes serán aquellas que están más alejadas del apoyo, y generalmente lo harán simétricamente, marcado dos mitades; a continuación se doblarán el resto de partes, también simétricamente. Con este tipo de moldes, no se sabe con exactitud cómo quedará el vidrio, ya que un vidrio cortado con la misma forma, sobre el mismo soporte, en cocciones semejantes, puede doblarse de manera distinta¹⁵⁷ (cuartos, sextos). La forma del apoyo se marcará suavemente en el vidrio, ya que alrededor de ella se producen los plegados.

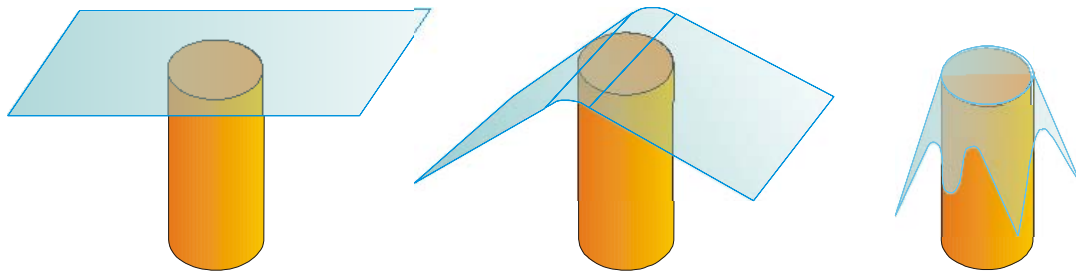


FIGURA 9

2. **Los soportes están en los laterales, dejando el centro libre.** (Fig. 10) Este tipo de soportes hace que la fuerza de la gravedad tarde un poco más en hacer que el vidrio se deforme, por lo que requiere algo más de tiempo. En este tipo de trabajos, hay que ser cuidadoso con la colocación del vidrio. Si es más grande que los soportes (fig. 11), colgará no sólo hacia adentro, sino también hacia los lados, atrapándolos; si los soportes están demasiado separados, se caerá de ellos y adoptará una forma imprevista (fig. 12).

¹⁵⁷ LUNDSTROM, B. (1991), p. 83.



FIGURA 10

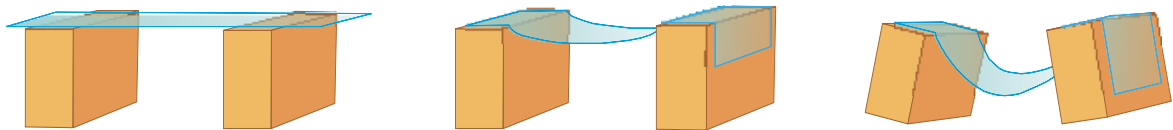


FIGURA 11

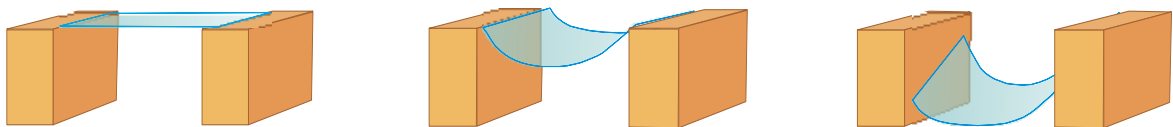


FIGURA 12

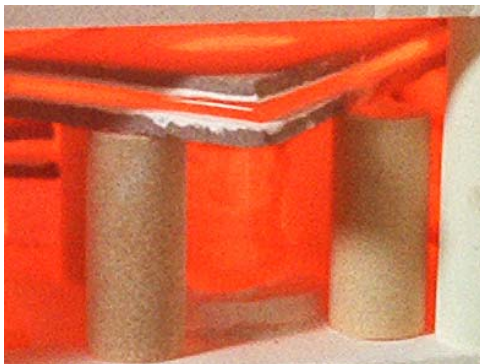
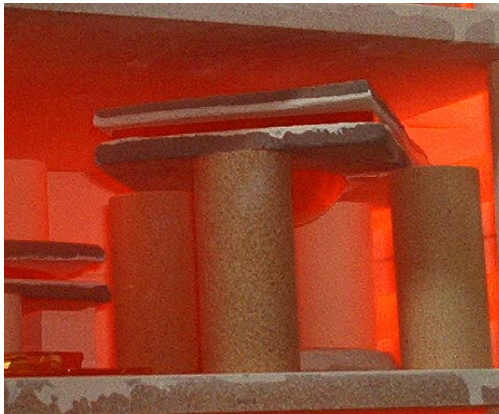
3. Moldes de estiramiento (*drop-out*)

En este caso, el vidrio está totalmente apoyado en un soporte, que tiene un agujero central a través del cual pasará cuando se ablande (fig. 4).

La longitud de alargamiento del vidrio dependerá de varios factores:

- Tipo de vidrio utilizado (duro o blando)
- Temperatura alcanzada y tiempo de subida. Si se asciende lentamente, es más fácil alcanzar cierto control del proceso, ya que el vidrio también se deformará más lentamente y las paredes son más homogéneas. LUNDSTROM (1991)¹⁵⁸ recomienda una velocidad de ascenso de 3°C por minuto una vez alcanzados los 650°C, hasta alcanzar los 750°C, y permanecer en esta temperatura el tiempo necesario para realizar el proceso (unos 45 minutos). En las pruebas realizadas por mí con vidrio float, un vidrio duro, fue necesario subir hasta 800°C para conseguir el estiramiento, incluso subiendo lentamente hasta la temperatura indicada por ese autor.

¹⁵⁸ P. 86.



De arriba abajo, y de izquierda a derecha, secuencia de la caída del vidrio en una obra realizada con la técnica de estiramiento. Entre la primera foto y la última hay una diferencia de 30 minutos.

- Forma y longitud del agujero realizado en el apoyo. Cuanto más estrecho es éste, más lenta es la caída del vidrio. En las fotos anteriores puede verse una placa preparada para el trabajo de estiramiento, con un agujero que supuestamente permitirá un paso rápido del vidrio.

En este tipo de moldes es necesario poner varias capas de vidrio justo en la zona donde se producirá el estiramiento. Pueden cocerse previamente hasta la temperatura de termocollage, o pueden ponerse directamente, aunque en este caso hay riesgos de burbujas. Algunos autores recomiendan poner sobre el vidrio un peso que evite que se cuele totalmente por el agujero¹⁵⁹, pero he comprobado que esto no sólo no es necesario, sino que puede causar problemas con el antidesvitrificador de la cara superior del vidrio, que puede quedar pegado al separador que esos pesos deben llevar.

¹⁵⁹ LUNDSTROM, B. y SCHWOERER, D. (1983), p. 95

Molde para estiramiento. Consiste en una placa de barro refractario chamotado, cocido a 900°C, al que posteriormente se ha puesto separador. Tiene unas marcas radiales que se imprimirán sobre el vidrio. Está alzado sobre cilindros del horno. Debajo hay otra placa de características similares en la que se apoyará el vidrio al caer, también con formas grabadas.



Dos obras están preparadas para cocerse en el horno. Cada una de ellas está compuesta de dos láminas de vidrio float de 6 mm de grosor; la lámina de arriba es ligeramente mayor que el orificio del apoyo. Entre ambas láminas hay panes metálicos y esmaltes.

Detalle de una obra realizada con este procedimiento en la que pueden verse dos fallos. Por una parte, se ha producido una gran burbuja de paredes finas como papel (vidrio bufado) debido a que las dos láminas de vidrio utilizadas no fueron fundidas previamente; por otra, se ha pegado el separador al antidesvitrificante de la superficie del vidrio, porque se utilizó una placa cerámica como peso.



Esta obra se ha realizado mediante estiramiento; el color amarillo se debe al pan de plata fina introducido entre las dos láminas de vidrio.

Combinaciones de textura y volumen.

Ya he explicado que el termoformado puede ser superficial, captando sólo una textura y conservando la forma plana del vidrio, o modificar la forma de éste creando volúmenes. Existen varios procedimientos para combinar forma y textura en una misma obra.

- El primero y más evidente consiste preparar una textura en la superficie del molde¹⁶⁰ sobre la que se apoyará el vidrio, ya sea tallando, pegando o modelando.
- El segundo es más complejo y requiere una doble cocción¹⁶¹. En primer lugar, sobre una superficie preparada con la textura que se ha preparado, se cuece el vidrio; en una segunda cocción, se pone esa pieza sobre un molde, teniendo cuidado de colocar hacia abajo la cara con relieve, y de no sobrepasar los 710°C.
- Una variación de la técnica anterior consiste en lo siguiente: tras la primera cocción para obtener textura, se rellenan los huecos del relieve del vidrio con fritas y esmaltes y se cuece, con esa parte hacia arriba, a 650° (para eliminar los gases de los esmaltes). En una tercera cocción, se pone un vidrio transparente sobre esos esmaltes y se funde; después se puede termoformar si se desea.
- En las zonas huecas de las texturas creadas en el molde pueden ponerse pequeñas cantidades de fritas y vidrio en polvo, y cocer sobre ellas una lámina de vidrio transparente. La temperatura mayor o menor elegida hará que las fritas se fundan completamente y se alisen o sólo se peguen, conservando su textura granulada.
- Otra posibilidad es combinar termoformado y fusión en relieve. Para ello, se termoforma una hoja de vidrio en el molde previsto y, tras enfriarse, se conserva sin separarlo de su molde; se añaden pequeñas piezas de vidrio en la superficie de la obra y se vuelve a hornear a la temperatura de fusión en relieve.

Cálculo de la cantidad de vidrio necesario para un termoformado.

Cuando se vaya a trabajar con una temperatura alta, porque no importa que las paredes de la obra terminada no tengan un grosor uniforme, no será necesario cortar el vidrio con un tamaño mayor que el del molde. En este caso, sólo hay que cortar la lámina de vidrio con la silueta del molde, previendo además unas "solapas" o zonas de apoyo sobre el molde para que no se mueva al ablandarse. Una vez fundida la pieza, si esas solapas no pueden incorporarse al proyecto escultórico, se pueden cortar y pulir.

¹⁶⁰ MOORMAN, S. (1990), p. 73 y sigtes.

¹⁶¹ LUNDSTROM, B. (1991), p. 14

Es más complejo calcular la cantidad de vidrio cuando se intenta que el grosor de las paredes sea más uniforme, o cuando no nos interesa que salgan marcas de estiramiento¹⁶². En este caso se pueden seguir algunas recomendaciones:

- En los moldes de formas sencillas, poner un borde a la lámina de vidrio del tamaño adecuado para permitir la deformación. La proporción entre la profundidad y el ancho del borde, para un molde sencillo, debe ser 1:2. Por ejemplo, si la profundidad que se quiere conseguir en el vidrio es de 1,5 cm, el ancho del borde debe ser de al menos 3 cm. Si el borde es más fino, no puede fundirse la pieza de una sola vez.¹⁶³ Por supuesto, esa solapa de la lámina de vidrio deberá apoyarse en el labio del molde, y no quedar colgando por fuera de éste.

Esta puede considerarse la norma general, pero debe adaptarse al tamaño de la pieza y al grosor concretos de la pieza¹⁶⁴. Por ejemplo, un vidrio pequeño (diámetro o lado inferior a 15 cm.) no sirve para hacer mucha profundidad, porque se agujerea; sin embargo, un disco de unos 30 cm de lado con borde de 4 cm. soporta hasta 3 cm. de profundidad de termoformado en una sola cocción.

- En los moldes complejos, como los convexos escultóricos (por ejemplo, un vaciado del natural grande o un alto relieve), las dimensiones de la lámina de vidrio deberán ser superiores a las del molde en un 20-30% más¹⁶⁵.
- El grosor del vidrio debe ser adecuado tanto a su tamaño (cuanto más grande sea la lámina de vidrio, mayor será el grosor) como a la profundidad de termoformado. Un caso especial son los relieves o texturados en los que no se quiere modificar la forma plana del vidrio, sino que se quiere destacar unas formas impresas en su cara posterior. Entonces, lo que más interesa es que la superficie de la cara superior sea uniforme. El grosor de la lámina de vidrio debe ser, al menos, igual a la profundidad de las formas del molde, pero se consiguen mejores efectos ópticos si el vidrio tiene un grosor igual a una vez y media la profundidad de las formas del molde.
- No siempre el vidrio debe estirarse para adaptarse a un molde; en ocasiones, con moldes cóncavos, el vidrio debe comprimirse. Es el caso de moldes con esquinas marcadas. En esos casos no hay que cortar mayor o menor cantidad de vidrio (nos servirá la norma general), pero necesitará más tiempo a temperatura de termoformado para adaptarse a la forma.

¹⁶² En varias obras en las que el vidrio debía modificar bastante su forma plana, he notado que en la superficie del float, tal vez debido a su dureza, quedan marcas lineales en la dirección del estiramiento, posiblemente debidas al cambio excesivo en la distribución de la materia.

¹⁶³ BUBBICO, G.; CROUS, J., y G. (1999), p. 70.

¹⁶⁴ MIRIAM DI FIORE, curso de *Fusing y termoformado*, Fundación CNV, mayo 1997, La granja de San Ildefonso.

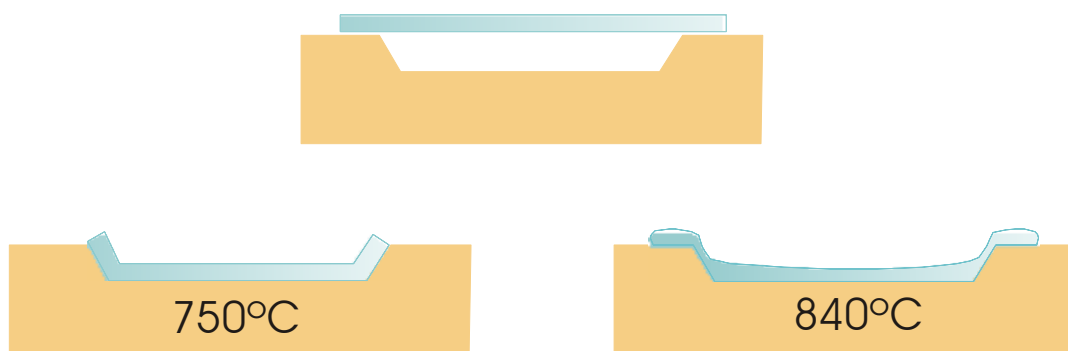
¹⁶⁵ BUBBICO, G.; CROUS, J., y G. (1999), p. 64.

III.2.5.3. Trabajo térmico: tiempo y temperatura. Calor en los distintos procesos de termoformado.

El vidrio se ablanda y se termoforma cuando se expone al trabajo térmico, no a *la temperatura*: el trabajo térmico es la temperatura más el tiempo; ambas magnitudes deben ser controladas en el termoformado. El proceso de termoformado debe hacerse lentamente.

La temperatura de termoformado no es la misma que la de fusión en relieve ni la de fusión total. Cuando se quiera termoformar una obra que deba llevar esmaltes o inclusiones, es mejor fundirla en plano previamente y después termoformarla. Esto incrementa su coste de producción; las piezas pequeñas y con moldes simples sí podrían cocerse en la misma hornada porque se termoforman subiendo la temperatura hasta la de fusión, pero el grosor de las paredes no quedaría homogéneo y se podrían formar burbujas de aire entre las láminas de vidrio que componen la obra, puesto que se deformarán antes de haberse fundido entre sí, obstruyendo parcialmente la salida de gases.

El proceso de termoformado se produce en la franja de temperatura entre los 650° y los 750°, pero dependerá de las características del horno utilizado y del vidrio. Si la temperatura excede los 750°, la pieza de vidrio se calienta demasiado; adoptará la forma del molde, pero en vez de adaptarse a su forma, se estirará sobre él.

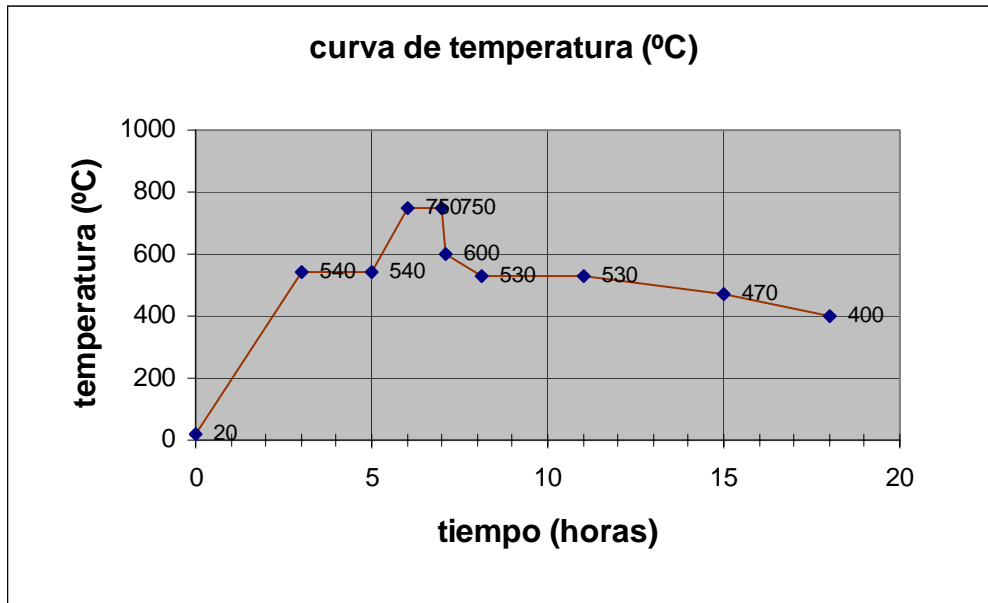


El esquema de arriba muestra una lámina de vidrio colocada sobre un molde cóncavo; a la izquierda se muestra cómo quedaría en una cocción lenta a la temperatura de termoformado, manteniendo su grosor uniforme y cayendo dentro del molde. En el gráfico de la derecha, se ve cómo quedaría con una cocción rápida a la temperatura de fusión: estirándose sobre el molde, y con grosor uniforme. Nótese que las solapas del vidrio permanecen en su lugar en vez de caer dentro del molde.

Moldes convexos, piezas escultóricas grandes.

Con moldes escultóricos en los que van a crearse volúmenes muy contrastados, es mejor realizar más de una cocción para evitar que haya zonas donde falte el vidrio, mientras que en otras cuelgue fuera del molde. Es preferible hacer una primera cocción, no muy larga, para repartir homogéneamente el vidrio. En la segunda, se alcanza una temperatura más

alta (750°C), y se controla visualmente el tiempo durante el cual debe permanecer el vidrio a esta temperatura. Cuando la obra se ha termoformado adecuadamente, puede iniciarse la curva de recocido, que debe ser muy lenta. La curva de temperatura adecuada para una obra de 70 cm. de lado y 4-6 mm. de grosor podría ser esta¹⁶⁶:



Bajorrelieves y moldes para texturas.

La temperatura alcanzada para conseguir que el vidrio copie bien las texturas y formas de un relieve debe ser más elevada que cuando se trata de termoformado. Dependiendo del vidrio utilizado, esta temperatura máxima oscila entre los 815° y los 850°C. En el caso del vidrio float, la temperatura utilizada en mis pruebas en el horno de fusión (más rápido) fue de 840°C, mientras que en el de cerámica (más lento) bastaron 820°C¹⁶⁷.

En este tipo de cocciones, es importante subir lentamente la temperatura una vez el horno haya alcanzado los 730°C para evitar la formación de burbujas.

Choques térmicos durante el termoformado.

Pueden producirse tanto al subir la temperatura como al bajarla. Cuando estamos ascendiendo en la curva de cocción, los choques pueden deberse a las diferentes características de los vidrios fundidos juntos (aún siendo compatibles, algunos absorben más calor que otros) y a la diferente absorción de calor entre el molde y el vidrio, porque el molde sólo toca el vidrio en algunas zonas, y el aire atrapado entre ambos actúa como aislante.

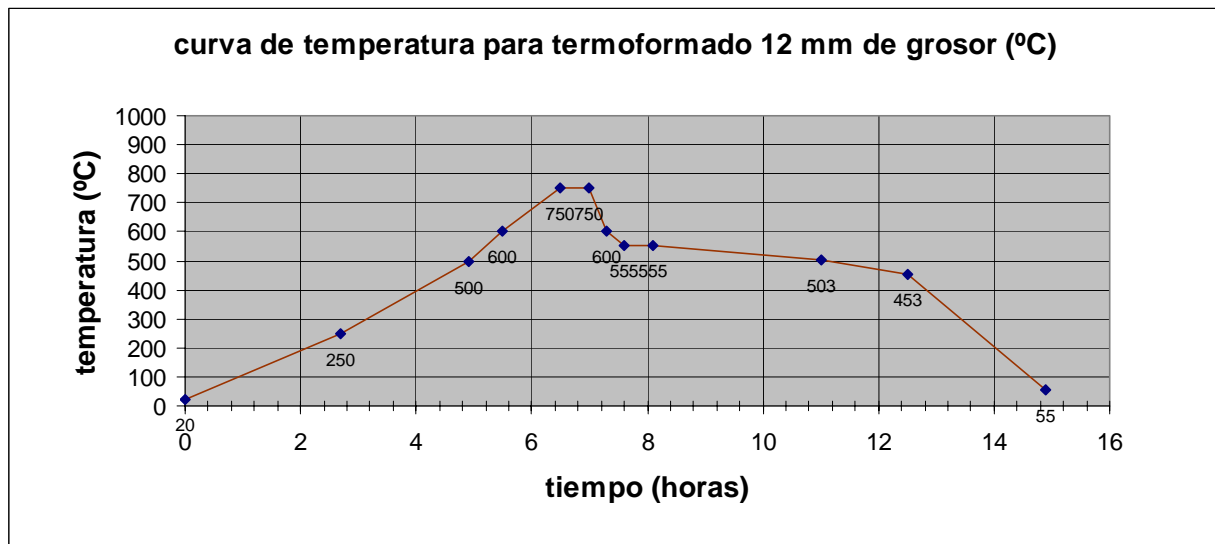
¹⁶⁶ BUBBICO, G.; CROUS, J., y G. (1999), p. 66.

¹⁶⁷ Aparte de la influencia del tiempo de calentamiento en el vidrio, también hay que indicar que los pirómetros de ambos hornos, a temperatura ambiente, tienen una diferencia de 10°C entre sí.

Cuando se producen choques térmicos en el calentamiento, los vidrios tienen roturas cuyos bordes están redondeados, y caen sobre el molde de maneras imprevistas, en ocasiones pegándose parcialmente los distintos fragmentos.

La solución es subir la temperatura lentamente, dejando un tiempo entre la temperatura ambiente y la de ablandamiento que sea aproximadamente 10 minutos por cada 3 cm. de longitud de las piezas de vidrio¹⁶⁸.

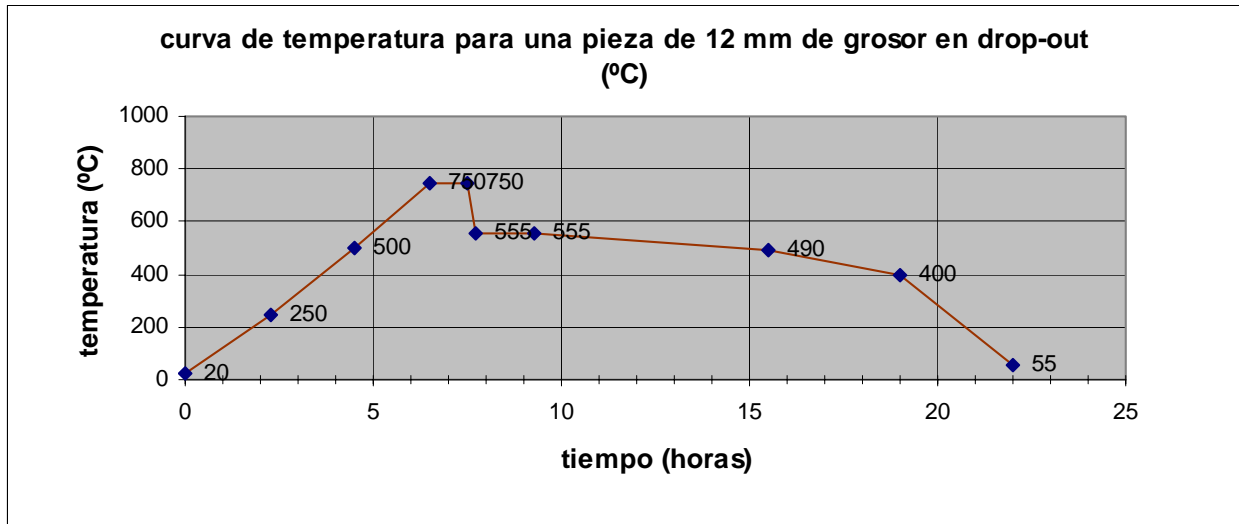
Otros choques se producen durante el enfriamiento, y se deben a que la forma del vidrio ya no es plana (las moléculas de vidrio están tensas en su nueva posición), o a las diferencias de grosor entre unas zonas y otras cuando hemos marcado una textura o un bajo relieve en la lámina de vidrio. A esto hay que añadir nuevamente las características del molde: si se enfría a diferente velocidad que el vidrio, o si su coeficiente de dilatación es mayor que el de éste, puede causar roturas. Esto significa que hay que dar más tiempo en el enfriamiento de la obra entre los 400°C y la temperatura ambiente, sobre todo si se utilizan moldes de cerámica que conservan mucho tiempo el calor.



Con las piezas realizadas mediante la técnica de estiramiento (*drop-out*), la curva de recocido debe ser más larga que en otras piezas termoformadas. Por ejemplo, una curva típica de termoformado, para una lámina de vidrio de 12 mm. de grosor, indica un tiempo de recocido de 30 minutos; cuando se trata de estiramiento, este tiempo llega a 1 hora 35 minutos¹⁶⁹.

¹⁶⁸ LUNDSTROM, B. (1991), pag. 84.

¹⁶⁹ STONE, G. (2000), pag. 95.



Hay una norma general para calcular la curva de recocido¹⁷⁰: se tiene en cuenta el grosor del vidrio más el grosor del molde, en vez de calcular sólo el del vidrio. De este modo se asegura el tiempo de enfriamiento suficiente.

III.2.5.4. Tipos de horno para termoformado.

Algunas técnicas de termoformado requieren que el horno tenga unas características especiales. Aquellos procesos en los que únicamente se vaya a crear una textura o bajo relieve en la lámina de vidrio, y que no vayan a modificar excesivamente su forma plana, pueden realizarse con un horno de calentamiento superior, como los de fusión. Sin embargo, las técnicas de tipo *sagging*, especialmente las de goteo o estiramiento (*drop-out*) se realizan mejor con un horno cuyas fuentes de calor se encuentren en las paredes laterales, como sucede con los hornos cerámicos. Un horno de calentamiento superior no sería adecuado, ya que a medida que el vidrio se estira, se aleja de la fuente de calor; la zona más caliente del vidrio es la superior, y las paredes del objeto quedan excesivamente finas por arriba. Con los trabajos de *draping* ocurre algo parecido: si utilizamos un horno de fusión, pueden afinarse excesivamente las zonas del vidrio que rozan las aristas superiores del molde.

¹⁷⁰ LUNDSTROM, B. (1991), pag. 13.

III.2.5.5. Tipos de moldes según su material:

- Objetos
- Mallas metálicas y alambres
- Fibra cerámica
- Arcilla
- Escayola refractaria
- Arenas y piedra pómez
- Carbonato de calcio
- Otros

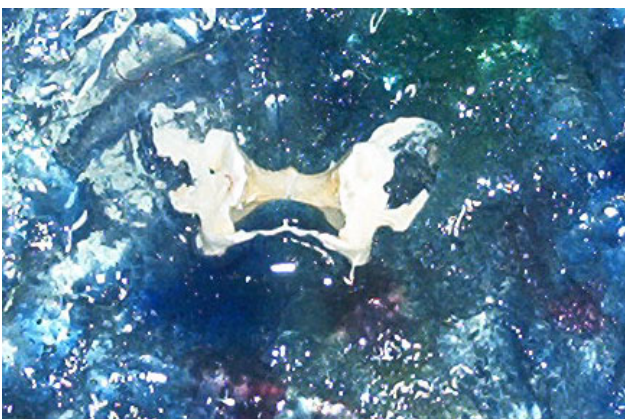
Objetos bajo el vidrio.

He experimentado bastante con estos materiales, puesto que la variedad de formas conseguidas es muy amplia. Los más interesantes posiblemente han sido los objetos orgánicos, como huesos, espinas de pescado, semillas, hojas secas... Otros no orgánicos, como clavos de hierro, mallas metálicas y trozos de alambre también dan buenos resultados. Antes de poner cualquier objeto bajo una obra, conviene probarlo en alguna muestra de vidrio menos importante.



Rama seca colocada bajo el vidrio durante la fusión. Su huella se queda marcada en el vidrio.

Algunos elementos usados bajo el vidrio quedan después incrustados en él. En el caso de materias orgánicas como huesos, es raro que no se calcinen lo suficiente como para ser eliminadas. Sin embargo, pueden llegar a quedarse incrustadas. Esto no causa problemas cuando la materia es blanda o está disgregada; cuando es un material no orgánico, duro, pueden producirse roturas cuando el vidrio se dilate o contraiga a distinta velocidad que el objeto incluido.



Fragmento de una obra en la que ha quedado incrustada una vértebra de animal.



Sobre estas líneas, una obra realizada combinando diversas técnicas, entre ellas la creación de relieve situando huesos bajo el vidrio. A la izquierda, dos imágenes que corresponden al mismo detalle de esa obra, el de arriba visto desde la superficie, y el de abajo visto desde atrás. En éste último pueden apreciarse mejor pequeños fragmentos blanquecinos de hueso que dejan una suave marca en el vidrio.

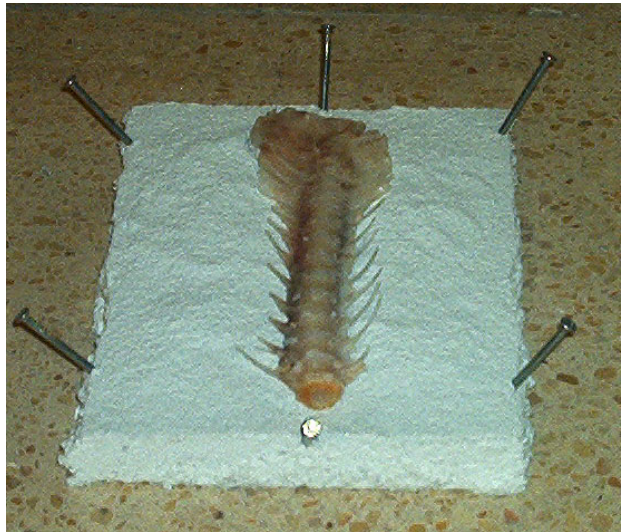
Es importante respetar algunas normas para evitar problemas que pueden arruinar las obras y el horno:

- Mantener el horno ventilado, es decir, con las chimeneas abiertas, al menos hasta alcanzar los 500°C cuando se introducen bajo el vidrio materias orgánicas que pueden desprender gases de combustión, como huesos, espinas de pescado, papel o madera.
- Cuando los objetos introducidos bajo el vidrio son muy voluminosos, las láminas de vidrio plano colocadas sobre ellos quedan inestables, y los cambios producidos por la combustión de los elementos orgánicos o la dilatación tanto de éstos como del vidrio puede hacer que se desplacen y caigan, ya sea sobre otras piezas o fuera de la bandeja del horno. Para evitar esto, basta con rodear las obras con pequeñas barreras de fibra cerámica.

Pueden cortarse de una plancha de fibra rígida que soporte al menos 1260°C, y que tenga suficiente grosor como para que se sujeten en pie (al menos 1,5 ó 2 cm). La fibra debe tener endurecedor. Las barreras se sitúan al menos a 5 mm de la obra, si bien hay que prever que cuanto más gruesa sea ésta más se dilatará. Conviene poner separador también sobre las barreras de fibra para evitar que el vidrio las toque directamente al dilatarse.



- Si el objeto que queremos utilizar como molde es muy grueso, o sólo nos interesa marcar en el vidrio una parte, se puede hacer un molde mixto con la base de una materia suelta como arena o piedra pómez en polvo, en la que se entierra parcialmente el objeto, quedando descubierta únicamente la parte que queramos impresionar en el vidrio. Por supuesto, también la textura de la arena o la piedra pómez quedará marcada en la obra.



Se ha preparado un molde sobre una superficie de fibra cerámica, en la que se ha colocado piedra pómez en polvo suficiente para cubrir la parte inferior de la espina; en los bordes de la fibra se han puesto clavos para sostener la pieza de vidrio en caso de que esta se desplace por efecto del calor

- Cuando el objeto usado como molde es muy grueso, estamos pidiendo a la lámina de vidrio que se estire mucho en relación a su forma. Pueden surgir marcas de estiramiento en la superficie del vidrio. Para evitarlo, se puede hacer una curva de subida de temperatura lenta entre los 650° y los $750^{\circ 171}$, aunque esto podría propiciar la desvitrificación. También conviene poner un trozo de vidrio más sobre el objeto y aproximadamente con su forma, para evitar que esa zona quede demasiado fina, puesto que al estirarse, y por efecto conjunto de la gravedad y la viscosidad del vidrio, tenderá a depositarse más materia en la zona más baja de la obra.

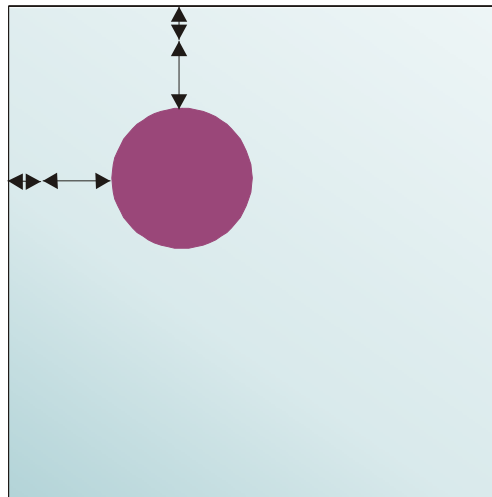
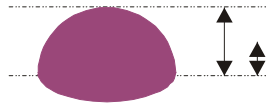


Sobre el objeto, el vidrio es mucho más fino, ya que parte de la masa se ha desplazado hacia abajo, engrosando las zonas horizontales más bajas próximas.

- El grosor de los objetos situados bajo el vidrio puede hacer que éste no los cubra totalmente, adoptando una forma bastante distinta a la que se cortó en la lámina de vidrio. En algunas ocasiones, esto será precisamente lo que busquemos, pero hay que tomar precauciones cuando queramos mantener una forma concreta. Por esta razón, cuando

¹⁷¹ Intervalo de temperatura de termoformado.

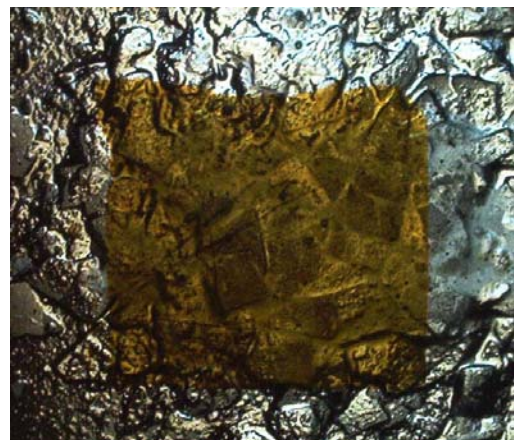
queramos que la impronta de un objeto bastante grueso quede marcada completamente en la obra sin que el contorno de ésta se modifique demasiado, deberemos calcular una distancia desde los bordes del objeto hasta los del vidrio que mida al menos una vez y media el grosor del objeto, como se muestra gráficamente a continuación.



Arriba: perspectiva del objeto en la que se muestra su grosor. Abajo: vista superior del vidrio y el objeto bajo él, con las distancias necesarias hasta los límites de la obra.

- El objeto que se utilice para crear texturas bajo el vidrio debe estar totalmente cubierto por éste, especialmente si puede deshacerse en pavesas que vuelen por el horno y se depositen sobre otras obras. Esto sucede, por ejemplo, con la cáscara de huevo: si algún fragmento queda al descubierto, caerá sobre otras obras, incrustándose en su superficie caliente y estropeándolas.

Detalle de una obra en la que se ha utilizado cáscara de huevo como elemento para crear texturas en el vidrio. La zona ámbar corresponde a una inclusión de pan de plata fina. La cáscara de huevo, después de hornear la pieza, se retira con facilidad, y deja una textura pulida o ligeramente velada.



- Cuando el vidrio y el hierro están en contacto y se calientan a temperaturas de fusión del vidrio, quedan pegados. Si vamos a utilizar como molde alguna pieza de hierro (clavos, etc.) el riesgo de rotura de la obra terminada es grande, porque ambos materiales no son compatibles. Para evitar la rotura, hay que poner separador en todos los elementos de hierro que utilicemos como molde.



Este clavo ha quedado atrapado en el vidrio; sin embargo no está pegado a él gracias al separador y el vidrio no tiene tensiones.

- No sólo podemos termoformar poniendo objetos bajo el vidrio; cuando se trata de materias inorgánicas y que no se queman a las temperaturas de fusión del vidrio, también sirven para termoformar en superficie; colocadas sobre el vidrio, dejarán sobre él una huella más o menos profunda en función de su peso y de la temperatura alcanzada.





Este clavo se puso sin separador sobre un vidrio; después de cocerlos juntos se pegaron, lo que supuso tensiones extremas debido a las diferencias de coeficiente de dilatación. Cuando se sacó del horno, estaba así de roto.

- Pueden conseguirse efectos de mallas metálicas utilizando alambres como molde, situados directamente sobre el separador de la bandeja del horno. Los mejores son los de cobre, que no se adhieren al vidrio y que son compatibles con él. Esos alambres deben estar bien planos para evitar que se incrusten en la obra de vidrio. Tras la cocción pueden separarse de esta obra, quedando sólo su huella. Si se vuelve a hornear sobre otro vidrio, se mantendrá la forma de los alambres, encerrando aire dentro, como si fuera una burbuja controlada.



Mallas metálicas

Las mallas metálicas pueden utilizarse para dos usos: crear textura en la superficie de la obra de vidrio, sin alterar completamente su forma plana, y dar forma a la escultura de vidrio, proporcionándole volumen.

Los moldes de malla metálica en los dos casos son similares y deben cuidar varias cuestiones:

- La malla mosquitera es la única que podemos apoyar directamente en la bandeja del horno cuando se trata de hacer una impresión de textura, puesto que el vidrio no tiene suficiente viscosidad para atravesar su entramado y tocar el fondo; con los demás tipos de malla, o cuando se desea no solo crear textura sino también alterar la forma plana del vidrio, hay que hacer un armazón que eleve la malla de manera que no toque la bandeja del horno, ya el vidrio quedaría aplanado.



Estas dos imágenes muestran un ejemplo de malla mosquitera plegada para crear texturas. En la de arriba, aún no se ha retirado la malla después de hornear; abajo ha sido retirada excepto en los bordes, donde por falta de suficiente cantidad de separador ha quedado parcialmente adherida.



- El armazón del molde de malla, sea del tipo que sea, debe tener mucha solidez. El vidrio es muy pesado, y el metal caliente dentro del horno se ablanda, de modo que suele deformarse bastante, y puede caer sobre otras obras o rozar la bandeja del horno.



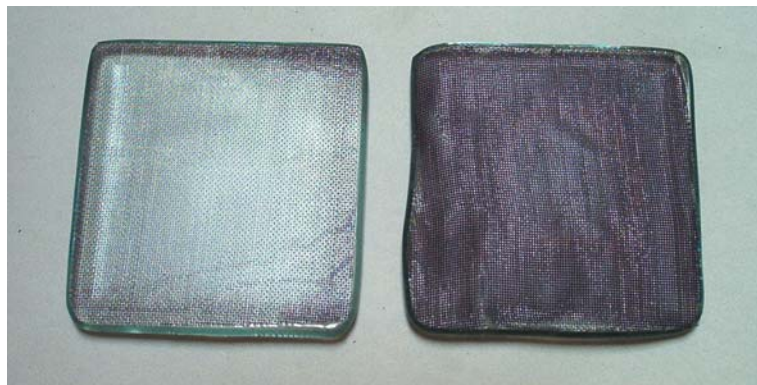
Molde realizado con malla metálica gruesa, malla mosquitera, y alambre. La superficie del vidrio estará apoyada en la malla mosquitera; las formas en alambre se imprimirán sobre el vidrio. La malla gruesa ha servido para crear un armazón elevado sobre la bandeja del horno. Todas las partes del molde tienen separador, incluso aquellas que teóricamente no deben tocar el vidrio, por si se produce algún fallo y éste se mueve de su sitio.

- Si la malla es gruesa (más de 5 mm de distancia entre los alambres) puede quedar atrapada dentro del vidrio; para que esto no suceda hay que evitar subir la temperatura del horno más de 810° C, tratando de estar el menor tiempo posible entre los 750° y la temperatura máxima, ya que el vidrio aumentaría su viscosidad y se escurriría entre los alambres.

Esta obra se horneó a demasiada temperatura en un horno cerámico, que tiene mayor inercia térmica que el de fusión; el resultado fue que el exceso de fluidez del vidrio lo hizo colarse a través de los huecos de la malla y encerrarla.



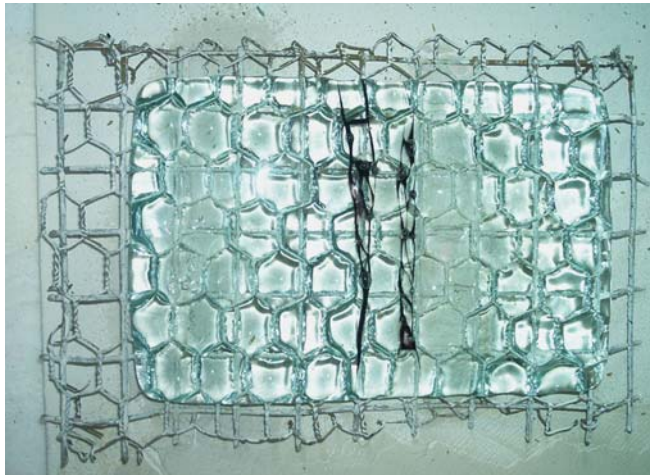
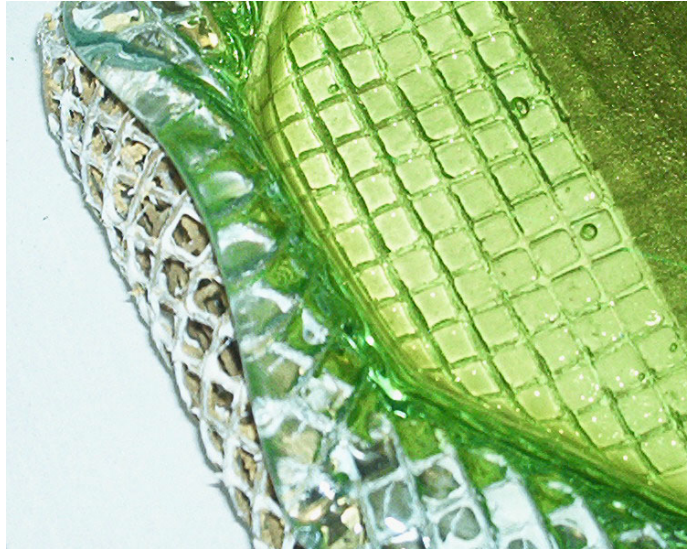
- Hay que poner separador en los moldes de mallas metálicas, pues ya dijimos más arriba que el hierro caliente se adhiere al vidrio. El separador, que se disuelve en agua y se extiende con una brocha, suele escurrirse de los materiales no porosos como los alambres. Para evitarlo, se calientan los moldes metálicos en el horno hasta los 100°C aproximadamente; a continuación se sacan y, antes de que se enfríen, se pone el separador, que se seca inmediatamente y queda adherido. Puede ser necesario poner varias capas de separador, para lo cual hay que recalentar los moldes.



Esta imagen y la anterior muestran dos pruebas realizadas sobre malla mosquitera; la de la derecha estaba tratada con separador; la de la izquierda no. El resultado es que en la primera queda marcada la textura, mientras que en la segunda el metal está fuertemente adherido al vidrio, y no se puede despegar.

- Un error muy frecuente cuando se trabajan las técnicas de termoformado es no calcular correctamente la cantidad de vidrio necesario para que adopte la forma del molde. Los bordes deben tener la suficiente anchura como para que el vidrio los “arrastre” ligeramente al bajar, sin que se produzca un contorno irregular.

En la imagen de la derecha se ve un contorno irregular producido por un fallo de cálculo en la anchura del borde del vidrio para adaptarse a la profundidad del molde; al descender ha “tirado” del centro.



Una obra realizada utilizando como base un molde de malla metálica hexagonal: arriba, sobre el molde, después de fundirse; abajo, una vez desmoldada. El vidrio, al pasar por la rejilla metálica, forma pequeñas lentes.



La mayoría de los moldes de malla no soportan más de dos cocciones, pues las altas temperaturas debilitan mucho su estructura, y los alambres que los componen se vuelven cada vez más frágiles y quebradizos.

Pueden termoformarse¹⁷² láminas de vidrio suspendiéndolas sobre gruesos alambres (por ejemplo de cobre, como los que se utilizan como toma de tierra) fijados al horno, entre el borde superior y la tapa si es de tipo arca. Los vidrios, al ablandarse, adoptarán una forma de tela colgada sobre esos alambres.

Para evitar que se peguen vidrio y alambre, o que éste manche el vidrio, puede ponerse en el alambre separador, o puede forrarse de papel de fibra.



Un vidrio grueso se suspendió de unos alambres a los que se había puesto separador, y se llevó a la temperatura de 780°C .

¹⁷² LUNDSTROM, B. (1991), pag. 89.

Fibra cerámica

Puede conseguirse fibra cerámica en varias presentaciones: como manta seca o húmeda, como tablero rígido de varios grosores, como papel de fibra y a granel. En escultura en vidrio son más útiles las presentaciones en papel de fibra (usado frecuentemente como separador, pero muy útil para hacer relieves), en tablero de fibra rígida entre 5 y 30 mm de grosor (puede hacerse moldes mediante el tallado, o la construcción pegando diversas partes entre sí), o la manta húmeda, que puede modelarse y dejarse secar y endurecer. En cualquier caso, debe ser fibra cerámica apta para alta temperatura (al menos 1260°C).

Las fibras cerámicas pueden ser, igual que las de vidrio, de diversas longitudes. Están fabricadas con alúmina y sílice, y tienen poca densidad, aunque su forma resiste elevadas temperaturas. Para poder aglutinar las fibras y darles las formas comerciales adecuadas, suelen emplearse diversos tipos de colas. En el caso de los tableros de fibra que he utilizado, el aglutinante es una sustancia parecida al azúcar, que desprende un fuerte olor mientras se calienta por primera vez, por lo que debe quemarse a unos 600°C antes de ser utilizada para crear moldes de escultura. El inconveniente es que, tras quemarse, la fibra se vuelve muy quebradiza, y es necesario utilizar un producto endurecedor, que suele estar compuesto de alúmina coloidal, sílice coloidal, o silicato de sodio (“vidrio soluble”). A su vez, este endurecedor debe ser horneado a 450°C antes de poderse utilizar con vidrio.

Su coeficiente de dilatación es muy pequeño (de hecho, apenas se modifica su tamaño ni su forma en las temperaturas máximas utilizadas para las técnicas de fusión de vidrio: alrededor de 850°C). Sin embargo, las presentaciones comerciales de la fibra –tableros rígidos, mantas, papeles de fibra- son bastante frágiles, por lo que rara vez causará una rotura al vidrio aunque la obra quede encerrada dentro del molde por algún enganche. Sin embargo, se desprenden continuamente pequeñas partículas de fibras sin aglutinar entre sí, a modo de un fino polvo blanquecino (más aún si no tiene endurecedor), y parece que sí causan problemas de incompatibilidad al mezclarse con la masa de vidrio¹⁷³. Yo no he podido comprobar esto: en mis pruebas con moldes de fibra de vidrio no se han presentado estos tipos de tensiones.

A pesar de la utilidad de las fibras cerámicas en la escultura en vidrio, es necesario tener muchas precauciones, en primer lugar con la salud (usar guantes de goma y mascarilla antipolvo al manipularlas en frío, y, en caliente, usar también la mascarilla si hay moldes de fibra en el horno al abrirlo para evitar inhalar pequeñas partículas). Por otra parte, cuando la fibra cerámica entra en contacto con el vidrio, suele dejar un vaho blanquecino en éste que es muy difícil de eliminar, porque, a pesar de

¹⁷³ “No se debe hornear nunca el vidrio directamente sobre tableros de fibra sin separador. Finas partículas de fibra se fundirán junto con el vidrio y causarán grandes tensiones que pueden llegar a romper la obra finalizada.” MOORMAN, S. (1990), p. 77.

que desaparece con el lavado, vuelve a salir una y otra vez. Y los fragmentos de fibra cerámica que se desprenden de los moldes, se pueden introducir dentro de una obra durante la cocción.

Las obras de vidrio realizadas sobre moldes de fibra cerámica deben ser recocidas de un modo especial. No hay que olvidar que la fibra cerámica es un material refractario, y que influye en la distribución de calor en el vidrio.

Cuando en una hornada se vayan a cocer varias obras sobre moldes de fibra cerámica, es conveniente repartirlos de manera equilibrada sobre las bandejas del horno para evitar que éstas sufran choques térmicos.

Se puede concluir que las ventajas de los moldes de fibra son muchas, y su elección dependerá del proyecto escultórico emprendido. Enumeraré las ventajas a continuación¹⁷⁴:

- No se agrietan
- No se contraen
- La conductibilidad térmica es muy baja (el calor acumulado es débil, por tanto la subida y descenso de temperatura son rápidos y al vidrio no le producen tensiones por causa de diferentes temperaturas)
- Son ligeros
- Resisten los choques térmicos sin estropearse (por ejemplo, al bajar rápidamente la temperatura desde el punto de fusión hasta el de recocido)
- No son combustibles
- Son adecuados para formar moldes grandes
- Larga duración, siempre que se manejen y almacenen con cuidado
- Puede cortarse y tallarse con facilidad
- Después de la cocción inicial, los moldes de fibra acabados pueden ser alisados con una lija fina para conseguir una superficie uniforme
- Los moldes de fibra cerámica son porosos y sólo requieren agujeros de ventilación en las zonas más profundas del molde.

Tallar planchas de fibra

Las planchas de fibra gruesas son muy útiles, porque pueden tallarse con facilidad y pueden reutilizarse muchas veces. Pero quiero insistir en que es necesario evitar riesgos de inhalación y de irritación de la piel.

Antes de quemar el aglutinante, la fibra es muy difícil de cortar: resulta dura y se desprenden trozos grandes. Por esa razón, los moldes de fibra rígida se tallan después de quemar el aglutinante de la plancha. Entonces los volúmenes principales pueden cortarse con una cuchilla o un bisturí antes de poner el endurecedor (después cuesta mucho más cortarla), mientras que los pequeños detalles, o incluso los agujeros de

¹⁷⁴ LUNDSTROM, B. y SCHWOERER, D. (1983), p. 87 y MIRBECK, X. (1992), p. 58

ventilación se hacen después de hornear el endurecedor. Algunas normas que conviene tener en cuenta son:

- Calcular siempre un margen alrededor de la zona tallada por si queremos termoformar vidrio grueso: al dilatarse dentro del horno, el vidrio puede llegar a sobresalir fuera del molde.
- Las aristas del molde deben biselarse y suavizarse: de este modo se evitan roturas y el molde dura más.



Molde de plancha de fibra, tallado antes de poner el endurecedor. Muchos fragmentos se desprenden y pueden meterse en la obra de vidrio.

- Utilizar siempre moldes con endurecedor: de lo contrario, pequeñas partículas se desprenden continuamente, lo que perjudica la durabilidad del molde y la salud.
- Hay que poner siempre separador, para que el vidrio no entre en contacto con la fibra.



La obra de vidrio que se ve delante, ha sido horneada sobre el molde que está detrás, creado con varios fragmentos de fibra rígida. Este molde estaba cubierto por separador, en este caso piedra pómez en polvo.

Construir con piezas de fibra de varios grosores

Cuando se necesita un molde más profundo, se pueden combinar varias planchas de fibra unidas entre sí. Se pueden pegar con cola especial para fibra cerámica, pero también es posible unirlas con clavos o alfileres, cuidando que estos no toquen el vidrio o que estén cubiertos por separador.

Utilizando fibra de distintos tipos pueden construirse formas que se utilicen como molde. Por ejemplo, puede utilizarse papel de fibra de 3 mm de grosor, fácil de rasgar con la mano o cortar con tijeras, para crear composiciones en bajo relieve, que se fijan sobre una plancha de fibra rígida mediante alfileres. Pueden superponerse varias capas de papel de fibra, y mezclarse con otros materiales para moldes, como pómez, objetos para texturas, etc.



Aunque el papel de fibra se recomienda como separador, cuando se trabaja con moldes compuestos de varias piezas es interesante utilizarlo porque puede mejorar las uniones entre los distintos elementos del molde.





Dos moldes preparados para su utilización; el de arriba, tiene una zona texturada con piedra pómez en polvo; el de la derecha, cáscaras de huevo, también para crear textura.

Papel de fibra

El papel de fibra puede usarse para crear una imagen en relieve en la superficie del vidrio. Este efecto se logra cortando y colocando piezas de papel de fibra sobre la bandeja del horno u otro soporte refractario, poniendo encima un vidrio transparente¹⁷⁵ y fundiéndolo a una temperatura de fusión total, que oscila entre los 815° y los 850°C, según el tipo de vidrio que se utilice. El vidrio se ablanda sobre la fibra, creando zonas más gruesas y más finas que reflejan la luz de modo diferente, creando una imagen que parece estar en el interior de la obra de vidrio.

Para conseguir ese efecto es necesario que el vidrio mantenga su cara superior plana, y eso implica respetar cierta relación entre el grosor de la lámina de vidrio utilizada y el del relieve creado con los trozos de papel de fibra. Si el diseño de papel de fibra es más grueso que el vidrio, en las zonas donde el relieve sea más alto, la obra se quedará demasiado fina durante la cocción, y se pueden formar burbujas.

Cuanto más gruesa sea la lámina de vidrio utilizada, más alto podrá ser el relieve y mejor se marcarán los efectos ópticos causados por la diferencia de grosor de la materia vítrea. Pero es necesario ser conscientes de que si el vidrio tiene más de 6 mm de grosor (al que tiende cualquier objeto de vidrio cuando alcanza la fluidez, debido a la tensión superficial), se dilatará en su superficie, pudiendo llegar a salirse

¹⁷⁵ Cuando se trabaja con vidrio transparente (blanco o de color) los resultados son muy distintos a cuando se trabaja con vidrios opacos o iridiscientes; en los primeros, se observa mejor el efecto óptico según el cual el relieve parece estar dentro del vidrio.

del molde. Para evitarlo, se utilizan barreras de fibra de vidrio, que actúan como contenedor.

Para prevenir la formación de burbujas de aire atrapadas entre la fibra y el papel existen varias soluciones:

- Subir muy lentamente la temperatura a partir de los 700°C, para evitar que el vidrio se ablande demasiado deprisa en los bordes de la obra, cayendo sobre el relieve y atrapando aire debajo; además, si el vidrio está ya blando cuando aún queda aire atrapado bajo él, tratará de salir hacia arriba incrustándose en la obra; de lo contrario, saldrá hacia los lados.
- Poner el papel de fibra sobre una superficie porosa, como una plancha de fibra, en vez de hacerlo sobre la bandeja del horno.
- Siempre que sea posible, realizar el diseño de los relieves de manera que permita la salida de aire, evitando zonas cerradas.

El papel de fibra es aún más frágil que la plancha de fibra cerámica. Tras la cocción, puede estropearse. Si lo queremos utilizar varias veces, es necesario prepararlo siguiendo un proceso como éste¹⁷⁶:

1. Cortar las diferentes piezas del diseño de papel de fibra
2. Hornearlo a 530°C para quemar el aglutinante
3. Impregnar el molde con una buena cantidad de endurecedor de moldes (puede usarse un pulverizador)
4. Volver a hornear el molde a unos 430°C para cocer el endurecedor.
5. Cubrir el molde con separador
6. Poner el vidrio sobre el molde y fundirlo.

Si se quiere conservar el molde, hay que poner especial cuidado al desprenderlo de la pieza de vidrio, una vez acabada la termofusión.

Manta de fibra

La manta de fibra húmeda es una fibra cerámica larga empapada en endurecedor de fibra, que viene en una bolsa de plástico para conservarla en buen estado. Este material puede utilizarse para crear moldes, ya sea modelándolo, ya sea dándole forma alrededor o dentro de objetos.

Debe darse forma a la manta húmeda antes de que se seque completamente y se endurezca, pero el secado es suficientemente lento como para poder trabajar cómodamente con ella. Puede darse forma a la manta húmeda con relativa facilidad, pero es necesario utilizar guantes de goma.

¹⁷⁶ LUNDSTROM, B. (1991), pag. 14

Al crear los moldes hay que tener en cuenta varias cosas:

- El molde debe tener una superficie de apoyo estable para sí mismo
- Debe ofrecer también una superficie de apoyo estable para el vidrio
- Sus paredes deben tener un grosor lo más uniforme posible.

Si se quiere utilizar como molde un objeto, es mejor poner un desmoldeante que permita separarlo después, ya que la manta húmeda se pega a todo al secarse. Puede usarse una disolución de agua jabonosa sobre superficies no porosas; sobre las superficies porosas es mejor utilizar un material interpuesto, como papel de periódico húmedo (se queda adherido al molde, pero se quema en el horno), o mejor aún, hojas de plástico o de aluminio domésticos, adheridas al objeto-molde, y cubiertas de agua jabonosa o vaselina.



Manta de fibra moldeada sobre un objeto encontrado: un cráneo de caballo.

La fibra se corta del tamaño aproximado que se necesita para adaptarse al objeto-molde, y se comprime sobre él, utilizando las manos (con guantes), o algún utensilio blando, como una espátula de goma para cocina. Al comprimirla, parte del líquido en el que está impregnada se escurre. Puede guardarse y utilizarse como endurecedor.

La fibra se seca al aire en un par de días. Este secado puede acelerarse si se pone al sol o se mete en el horno a unos 150°C (si el material del molde lo permite). Los moldes más grandes y gruesos requieren más tiempo para secarse.

Una vez la manta esté endurecida y seca, se extrae el molde y se cuece en el horno a unos 650°C. Tras la cocción pueden ultimarse detalles como los agujeros de ventilación (pueden hacerse con un taladro).

LUNDSTROM, B. (1991) no considera necesario el uso de separador con este tipo de molde si se quiere una superficie rugosa; cuando, por el contrario, se desea una superficie lisa y pulida, hay que poner separador, cocerlo en el horno, y lijarlo suavemente. MOORMAN, S. (1990), sin embargo, recomienda lijar la superficie del molde después de hornearlo, y antes de poner el separador, que debe utilizarse siempre.



El molde de manta de fibra que se realizó sobre el cráneo se ha cocido a 650°C y ha recibido una capa de separador que también ha sido secada a 300°C. Sobre estas líneas, puede verse dicho molde con una pieza de vidrio encima, preparada para ser termoformada. Esta lámina de vidrio ha sido previamente preparada con inclusiones de pan de plata, esmaltes y fragmentos de vidrio molido en relieve.



La obra de vidrio termoformada sobre el molde de manta de fibra anterior, una vez deshornada y desmoldada. El molde sigue perfectamente en uso, y podrá ser utilizado muchas veces.

Compuestos de fibra

Los fragmentos de fibra sobrantes después de tallar los moldes de tablero, o los pequeños fragmentos en los que se rompen los moldes, pueden reutilizarse. Para ello, se trituran (pueden deshacerse con los dedos, usando guantes y mascarilla). Con ellos pueden hacerse varios tipos de pastas refractarias. Pueden añadirse a la escayola refractaria y a la arcilla para que los moldes hechos con ellas sean más resistentes a los choques térmicos y más porosos. Los moldes serán entonces más duraderos, pues la fibra refractaria soporta bien las altas temperaturas y tendrán menos tendencia a encogerse y dilatarse con los cambios de temperatura.

Preparación de los moldes con masas de fibra.

La mayoría de los consejos para utilizar manta de fibra húmeda son válidos para dar forma a los moldes de masas de fibra: usar un desmoldeante si se da forma a la masa sobre un objeto (agua jabonosa, vaselina); tratar de conseguir paredes de grosor uniforme; dejar secar y endurecerse a las masas antes de separarlas del positivo que las da forma; hornear hasta 425°C aquellas que llevan endurecedor de moldes, y, después, poner separador en todas ellas y hornear para secarlo.

Aquellas formas poco estables deben colocarse en el horno de manera que se sujeten completamente y que puedan contener una lámina de vidrio sobre ellas sin problemas.



La masa de fibra se ha dado forma sobre un recipiente de cocina, previamente impermeabilizado con vaselina. Una vez seco y horneado el endurecedor, puede separarse del molde y preparar aquellos elementos que servirán para hornearlo con el vidrio. En este caso, el molde no tiene estabilidad y no dispone de un labio sobre el que depositar el vidrio. Esto se soluciona cortando las piezas correspondientes en fibra rígida.





El separador puede utilizarse no sólo para evitar que el vidrio quede pegado sino también, como en este caso, para rellenar las fisuras entre los distintos elementos del molde, de manera que el acabado del vidrio sea más uniforme.

Distintas recetas experimentadas:

La mayoría de estas recetas han sido ideadas teniendo en cuenta la mezcla de fibra con otras materias refractarias que posean cualidades adecuadas para la escultura. Por ejemplo, la escayola es un material óptimo para la creación de moldes, por sus especiales características de copia y fraguado; el cuarzo en polvo o el caolín favorecen también la copia de texturas, debido a su grano fino; la piedra pómez, además de su grano fino, es un material muy adecuado para usar con vidrio porque, usada como separador, deja la superficie de éste transparente y pulida...

1. 2 partes de fibra¹⁷⁷
 2 partes de endurecedor de moldes
 4 partes de cuarzo en polvo

Para dar forma al molde se comprimió esta mezcla dentro de una bandeja de plástico. Una vez seco el molde, se extrajo dicha bandeja. Se puso desmoldeante, y el resultado con vidrio fue bueno. Es bastante frágil, aunque se ha podido utilizar al menos 3 veces.

2. Mezcla anterior, reforzada con fibra de vidrio
 Igual de frágil que la anterior. Se utilizó el exterior de una bola metálica (calderín de una bomba) para darle forma. Una vez seca y separada del molde, se rompió al manipularla. Se utilizó en el horno con éxito una vez, por el lado cóncavo.

¹⁷⁷ LUNDSTROM, B. (1991), pag. 89



3. 2 partes de fibra¹⁷⁸
1 parte de separador
1 parte de cuarzo en polvo
1 parte de endurecedor (para amasar)

Para realizar este molde se utilizó un recipiente de cocina. Una vez seco, ha resultado bastante resistente. Con vidrio se han obtenido buenos resultados en la primera cocción, tras la cual el molde era mucho más frágil y se desprendían pequeños fragmentos. Se ha podido utilizar únicamente dos veces.



4. Fibra + endurecedor suficiente para amasar
Se utilizó como molde una tabla de trillo forrada de papel aluminio, con vaselina. La mezcla es demasiado débil, y al desmoldear se rompe uno de los laterales. Sin embargo, da buenos resultados

¹⁷⁸ LUNDSTROM, B. (1991), pag. 87

después de horneado, y se vuelve bastante resistente. Se ha utilizado con éxito con vidrio varias veces.

5. 4 partes de fibra
1 parte de alúmina
1 parte de caolín

1 parte de endurecedor (para amasar)

Esta vez el contenedor para dar forma al molde fue el interior de una flanera antigua. Es una mezcla bastante sólida, y ha podido utilizarse con éxito con vidrio al menos dos veces.

6. 3 partes de fibra
2 partes de caolín
1 parte de piedra pómez en polvo
1 parte de endurecedor (para amasar)

También en esta ocasión se utilizó como molde la tabla de trillo forrada de papel aluminio, con vaselina. Buenos resultados, puesto que sale una mezcla resistente tanto en seco como después de cocida.



Varios de los moldes descritos, enhornados para cocer el separador, junto con una teja que también se utilizó como molde cerámico.

7. 2 partes de arcilla
1 parte de fibra

Los resultados han sido dispares. La mezcla con arcilla refractaria chamotada obtiene un resultado muy bueno y el vidrio cocido encima copia bien las formas sin tener tensiones. Sin embargo, el resultado no se diferencia grandemente de la misma pasta sin fibra.

Si se utiliza arcilla normal, el resultado es malo: el molde es demasiado frágil, tanto que se rompe al desmoldear el vidrio en la primera cocción.

8. 3 partes de escayola normal
3 partes de fibra deshecha

Se utilizó como recipiente para dar forma al molde una palangana, y una vez fraguada la escayola se talló en la superficie una incisión con

forma de espiral. La mezcla es muy frágil, tanto que tras la primera cocción con vidrio se empiezan a desprender fragmentos de las aristas, y es reforzada con un poco de endurecedor, a pesar de lo cual no resiste más que tres cocciones.

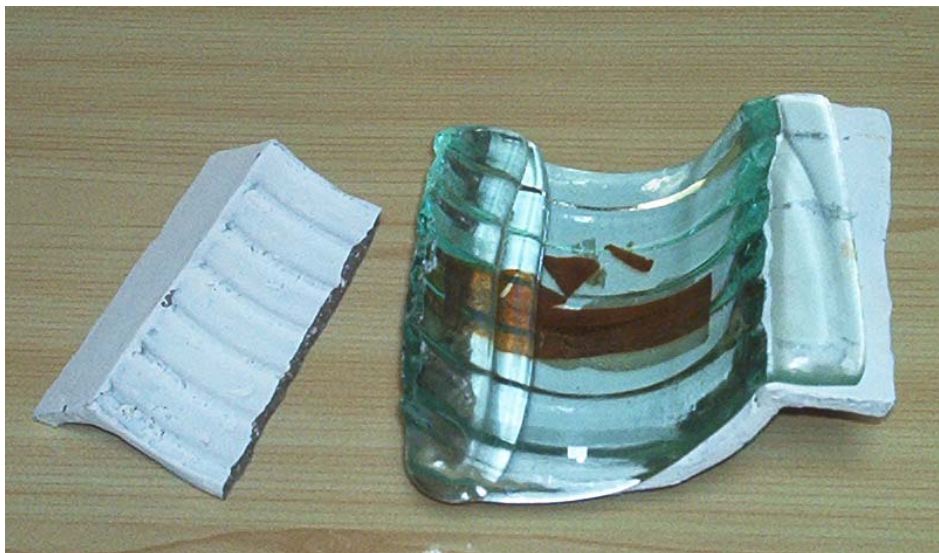
9. Mezcla anterior, reforzada con malla metálica y endurecedor (tras secarse la escayola)

Mezcla tan frágil como la anterior, tanto que al sacar el molde de escayola del objeto que sirvió para darle forma (una zapatilla), se pierden muchos fragmentos. Antes de llegar a cocerse, en el simple manipulado para almacenamiento, se rompieron varios fragmentos, y fue necesario restaurarlos. Sólo aguantó dos cocciones, la segunda de ellas con muchos defectos por roturas y grietas.

Moldes con arcillas

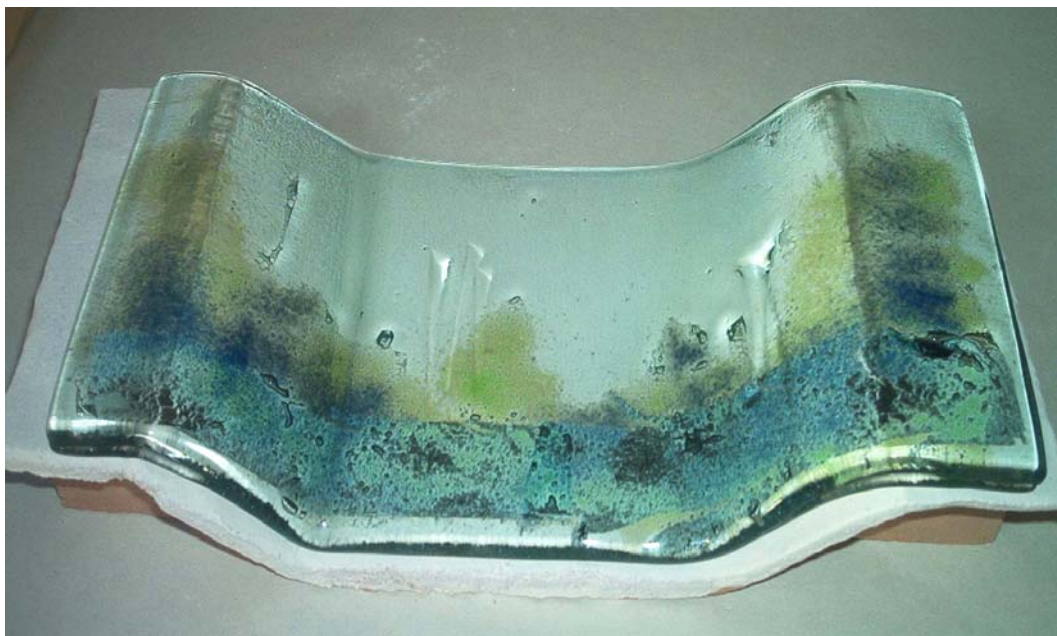
El barro es un material bueno para hacer moldes de termoformado, pues resulta asequible y fácil de modelar.

El barro rojo común puede utilizarse si se sube la temperatura lentamente, pero eso provocaría la desvitrificación del vidrio. Además, la temperatura de fusión de este barro es baja, demasiado cercana a la del vidrio; si subimos la temperatura más de 850°C podemos llegar a pegar el vidrio al barro, y eso provocaría roturas por diferencia de coeficientes de dilatación.



El molde se hizo con una arcilla fina de baja temperatura, sin chamota. El resultado fue una estructura débil que se rompió al desmoldear la pieza de vidrio.

Es mejor utilizar un barro refractario con chamota para hacer moldes; el barro para rakú, por ejemplo, aguanta bien los choques térmicos. Cualquier barro refractario es preferible a las arcillas de baja temperatura. Debe poder cocerse a una temperatura de 1200°C aproximadamente.



Esta obra se ha termoformado sobre un molde de gres chamotado, cocido a 900°. El resultado ha sido muy bueno, puesto que la obra no presenta tensiones y las pequeñas formas incisas en el barro se han copiado bien en el vidrio.

La arcilla refractaria forma moldes porosos y muy duraderos cuando se cuecen a temperatura de biscuit (870°-980°C); otras arcillas, cocidas a la misma temperatura, son más frágiles.

El espesor del molde debe ser uniforme. El vidrio se enfría lentamente donde está en contacto con él; si tiene diferentes grosores, guarda el calor de diferente modo y provoca tensiones en el vidrio.

Una vez modelado el molde, es necesario hacer algunas operaciones antes de poderlo utilizar:

1. Eliminar cualquier rebaba o filo cortante donde el vidrio pueda deslizarse y adherirse.
2. Secar el molde al aire o al sol
3. Hornear hasta la temperatura de 870°-900°C.
4. Aplicar una capa de separador y volver a hornear a 300°C para secarlo. Sobre los moldes de cerámica, el separador puede utilizarse varias cocciones, pero hay que comprobar que no esté descascarillado.



Dos moldes de gres chamotado, después de cocidos a 900° y con el separador ya horneado, listos para ser utilizados con vidrio.

Los moldes de cerámica pueden utilizarse para termoformar el vidrio de dos modos diferentes; uno es el descrito hasta ahora, en el que el vidrio está sobre el molde y adquiere su forma en la cara inferior. Sin embargo, debido al peso que tiene la arcilla, pueden ponerse los moldes sobre el vidrio en vez de hacerlo bajo él, y también quedará su impronta sobre la cara superior.



Placa de gres, con separador, colocada sobre un vidrio float de 6mm de grosor. El resultado cuando se sacó del horno fue el que se muestra en la foto.

La arcilla o el gres que se utilice de esta manera debe estar protegido con separador. No debe ponerse bórax ni otros antidesvitrificantes en la superficie del vidrio, ya que al entrar en contacto con el separador harían que éste se pegase al vidrio. Bajo la arcilla, el vidrio no está en contacto con el aire y no se desvitrifica.

Objetos de cerámica convertidos en molde.

Se pueden utilizar como moldes cacharros de cerámica encontrados o comprados para tal uso¹⁷⁹; en cualquier caso, debe prestarse atención a lo siguiente:

- La forma no debe tener enganches que impidan al vidrio desprenderse.
- El grosor no debe ser grande para que no se convierta en una masa térmica que ralentice el calentamiento y el enfriamiento
- Los agujeros de ventilación. Será necesario crearlos en los lugares oportunos con ayuda de una taladradora y una broca fina.

¹⁷⁹ MOORMAN, S. (1990), pag. 74.

- La superficie debe ser suave y sin vidriados, para que la obra de vidrio no se pegue al molde.



Una teja antigua, una vez limpia y con el separador, se ha utilizado para termoformar una placa de vidrio.

Inconvenientes de los moldes de cerámica

El principal inconveniente que tienen los moldes de barro es que durante el enfriamiento se convierten en una masa térmica difícil de controlar que puede provocar la rotura de la obra de vidrio¹⁸⁰.

Otra desventaja es el cambio de volumen tan grande que sufren durante el calentamiento y el enfriamiento a la temperatura de 570°C aproximadamente (fenómeno conocido como inversión de cuarzo)¹⁸¹. Para evitar romper el molde, la velocidad de calentamiento o enfriamiento debe ser muy lenta en torno a esa temperatura.

Además, hay que considerar cómo se adapta este material a las subidas y bajadas de temperatura del horno requeridas por el termoformado. El vidrio tiene una temperatura de ablandamiento cercana a los 550°C, mientras que para el barro la temperatura crítica estaría próxima a los 650°C¹⁸². No puede utilizarse una curva de temperatura que sirva sólo para vidrio, porque el barro se rompería estropeando la obra.

¹⁸⁰ MIRBECK, X. (1992), pag. 58.

¹⁸¹ LUNDSTROM, B. y SCHWOERER, D. (1983), pag. 86.

¹⁸² MIRIAM DI FIORE, curso de *Fusing y termoformado*, mayo 1997, Fundación CNV de la Granja de San Ildefonso.

Moldes de escayola refractaria.

La escayola refractaria puede comprarse ya preparada especialmente para soportar altas temperaturas, como la que se utiliza para los moldes de fundición, o puede hacerse mezclando con escayola corriente varias proporciones de materiales refractarios como la sílice y el cuarzo en polvo. También es recomendable añadir otros materiales que den fuerza y cuerpo a la masa, a la vez que disminuyen la dilatación/contracción del molde con los cambios de temperatura. Esos materiales suelen ser chamota, fibra cerámica deshecha, sepiolita o incluso restos de moldes antiguos de escayola refractaria triturados.

Además de la composición de la mezcla de escayola y los demás componentes refractarios, es importante cómo se hace el amasado. Deben añadirse al agua fría la escayola, la sílice y demás materiales. Después debe batirse durante bastante tiempo, al menos 5 minutos para una pequeña cantidad (hasta 3 Kg.), y más aún para cantidades grandes. Batiendo la mezcla se consigue que la escayola forme pequeños cristales mientras endurece y disminuye el agrietamiento durante la cocción¹⁸³.

Generalmente, los moldes de escayola una vez utilizados en el horno se vuelven frágiles y se rompen, por lo que es muy raro que se puedan reutilizar.

Al ser su fragilidad y la aparición de grietas durante la cocción dos de los mayores inconvenientes de este material, conviene conocer y poner en práctica algunas técnicas de reforzado del molde:

- Utilizar una malla metálica que tenga la misma superficie que el molde, y encerrarla entre dos capas de escayola refractaria (sobre la primera capa de copiado de formas, y bajo la capa final de escayola, de reforzado), poniendo además un alambre de al menos 3mm de sección en el perímetro del molde, también dentro de la escayola. Esta técnica de moldeo es la habitual en pasta de vidrio y casting.
- Reforzar el molde con papel de fibra cerámica, colocando este material, con la escayola aún húmeda, en la cara posterior del molde¹⁸⁴.
- Si se quiere reutilizar el molde tras una primera cocción, pero han aparecido fisuras y grietas, se rodea todo el conjunto con alambre y se sujetan las diferentes partes; puede hacerse alguna corrección con escayola de la misma composición aplicada con pincel.
- Rociar la superficie del molde con una buena cantidad de endurecedor de moldes; de esta manera se evita que, al desmoldear el vidrio, se desprendan pequeños trozos de la superficie del molde.

¹⁸³ LUNDSTROM, B. (1991), pag. 22.

¹⁸⁴ Op.Cit., pag. 22

- Klaus Moje sugiere a sus alumnos que asignen una bandeja de horno permanentemente al mismo molde de escayola, de manera que no se toque el molde, sino la bandeja para manipularlo¹⁸⁵.

Se puede utilizar la escayola refractaria para hacer moldes de termoformado de, al menos, estas tres formas distintas:

1. En seco. Se extiende escayola en polvo (sin aditivos refractarios) sobre una bandeja de horno; con un pincel, brocha o espátula se realizan sobre este soporte las formas que se deseen. La escayola se cuece entonces a 800°C, sola, antes de apoyar el vidrio en ella. Después se cuece la lámina de vidrio sobre esa superficie, con una temperatura máxima de 750°C. Una vez sacada del horno, la lámina de vidrio se limpia con un cepillo fuerte. Puede usarse algún producto para eliminar los restos de escayola del vidrio.¹⁸⁶



De arriba a abajo y de izquierda a derecha: molde de escayola en polvo después de cocerse a 800°C; está rodeado por barreras de fibra cerámica. Placa de vidrio float de 10 mm después de termoformarse sobre ese molde. Detalle de la textura obtenida sobre la escayola.

¹⁸⁵ LUNDSTROM, B. y SCHWOERER, D. (1983), pag. 93.

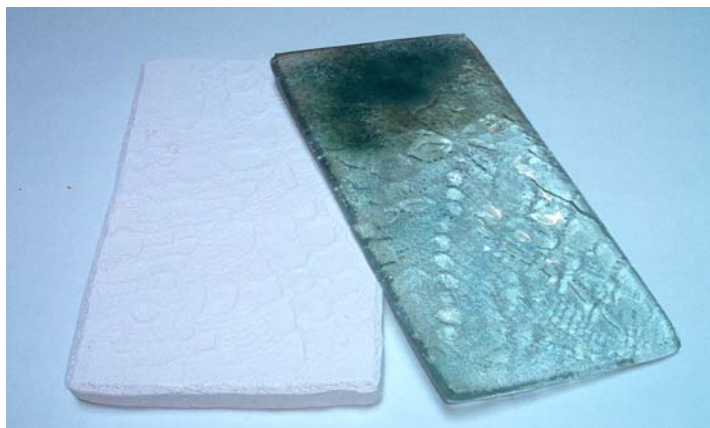
¹⁸⁶ BUBBICO, G.; CROUS, J., y G. (1999), pag. 60.

2. Tallada. Se vierte escayola refractaria líquida sobre un recipiente que la contenga (preferiblemente sobre un fondo de papel de fibra cerámica). Tras esperar unas tres horas, puede tallarse la superficie del molde. Para mantenerla húmeda mientras se está tallando, puede mantenerse dentro de una bolsa de plástico hasta tres días. El molde debe estar totalmente seco antes de ser utilizado con vidrio. Para ello, se seca al aire durante varios días. A continuación, se pone en el horno, primero durante al menos cinco horas (dependiendo del tamaño del molde) a 250°C, y después, a 650°C durante otras tres horas¹⁸⁷. Entonces ya está preparado para usarse con el vidrio.
3. Moldeada sobre un positivo, ya sea éste de arcilla o algún otro objeto o material. En este caso el tipo de molde es semejante al utilizado para relieves en otros procesos escultóricos de vaciado, si bien conviene reforzarlo (con fibra cerámica o malla metálica).

Las diversas recetas de escayola refractaria se basan en la mezcla de tres elementos; la escayola es el agente de fraguado, la sílice y la chamota proporcionan partículas de tamaños variables que dan propiedades refractarias, y la vermiculita y la sepiolita proporcionan porosidad. Algunas recetas recomendadas en la bibliografía que he consultado son:

- 600 g de escayola
- 600 g de sílice
- 200 g de caolín
- Agua¹⁸⁸

Esta mezcla permite hacer moldes relativamente finos, pero es muy delicada; he comprobado que cuando se mete en el horno, ya sea para secarla o para preparar el endurecedor de moldes, se agrieta. Se rompe fácilmente con el manipulado, sobre todo después de horneada.



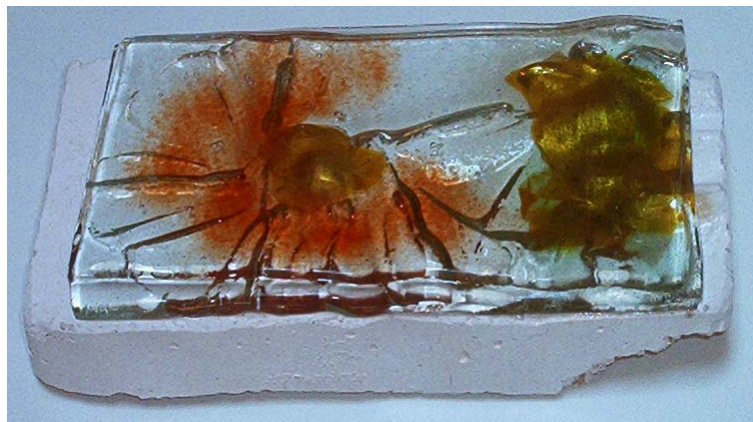
Esta pieza se coció sobre un molde de arcilla, arena y caolín que se desmoldeó sin dificultades, pero era tan frágil que se rompió durante el manipulado posterior.

¹⁸⁷ LUNDSTROM, B. (1991), pag. 22.

¹⁸⁸ BUBBICO, G.; CROUS, J., y G. (1999), pag. 61

- Medidas por volumen:
 6 partes de escayola
 2 partes de harina de sílice (cuarzo molido)
 2 partes de chamota o arena de sílice
 3 partes de vermiculita o sepiolita (sirve la arena para gatos) o restos de moldes de escayola refractaria triturados¹⁸⁹.
 Esta receta sólo sirve para moldear sobre un positivo, ya que la textura es demasiado gruesa como para permitir el tallado.

El molde resultante es bastante sólido para manipularlo, tanto antes como después de hornearlo. En la prueba que hice, sin embargo, quedó tan adherido al vidrio que fue necesario romperlo para separarlo.



Molde preparado con esta receta; para desprenderlo del vidrio hubo que romperlo.

- 6 partes de escayola dura (50 o más)
 2 partes de harina de sílice (cuarzo molido)
 1 parte de chamota media
 1 parte de vermiculita fina o restos de moldes de escayola refractaria triturados¹⁹⁰
- 1 parte de escayola
 1 parte de arena de sílice
 Esta es una de las recetas más difundidas de escayola refractaria. Se utiliza sobre todo para casting y pasta de vidrio. Una variante de esta receta consiste en sustituir la mitad de la arena por cuarzo en polvo, para hacer más fina la textura. He probado ambas recetas con buenos resultados, aunque hay que indicar nuevamente que la textura no es muy adecuada para tallar, y que los moldes son extremadamente frágiles antes y después de ser cocidos.

¹⁸⁹ LUNDSTROM, B. y SCHWOERER, D. (1983), pag. 93.

¹⁹⁰ Op. Cit. Pag 93.



Molde de escayola y arena de sílice al 50%. Se formaron muchas fisuras en la superficie del molde al quemar el endurecedor, antes de cocerlo con el vidrio. Aguantó bien el desmoldeado, aunque pequeños fragmentos quedaron adheridos al molde.

Otras recetas que he experimentado aunque no las he hallado en la bibliografía consultada son las siguientes:

- 3 partes de escayola
1 parte de cuarzo molido
1 parte de chamota fina
1 parte de pómez en polvo

Es una mezcla sólida, que soporta bien los horneados para secar el agua y el separador, y se utilizó en dos horneadas sucesivas de la misma pieza para hacer fusión en relieve además del termoformado.



Pieza de vidrio termoformada sobre un molde con escayola, cuarzo molido, chamota y pómez.

- 2 partes de escayola
1 parte de cuarzo molido
1 parte de pómez en polvo

Es una de las mejores recetas; aunque es un poco frágil cuando está húmeda, después de secarse en el horno y poner el endurecedor de moldes soporta bastante bien varias cocciones seguidas. Se desmoldea con mucha facilidad y no se pega al vidrio. Copia perfectamente las texturas más ligeras.



Pieza de vidrio termoformada sobre un molde de escayola, pómez y cuarzo.

Problemas surgidos con los moldes de escayola.

Los que suceden durante la preparación del molde ya los he mencionado, y se deben a la fragilidad de la escayola refractaria preparada con estas recetas, que se rompe fácilmente y se agrieta cuando se hornea para eliminar el agua o cocer el endurecedor de moldes.

Pero la cocción de moldes de escayola también supone problemas. Pueden surgir enormes burbujas en el vidrio, que estropean la pieza. Estas burbujas pueden deberse a dos razones:

- El molde no estaba totalmente seco.
- El vidrio cubrió totalmente a la escayola, impidiendo la salida de aire y gases.

Durante la cocción se hizo una gran burbuja. El vidrio tocó la bandeja del piso de arriba y quedó pegado a ella. Cuando se producen este tipo de burbujas el vidrio queda "bufado", con el grosor del papel.



Arenas y piedra pómez en polvo

Una variante del lecho de arena que se utiliza para trabajar con la técnica de colada puede emplearse también dentro del horno con las técnicas de termoformado. La capa de arena que separa el vidrio de la bandeja del horno impide que éstos se peguen; no obstante, una capa de arena quedará adherida al vidrio, incorporándose a la obra. Por esta razón serán muy importantes cuestiones como el color y la granulometría de la arena utilizada. Si bien en la técnica de colada era posible mantener la arena húmeda para dar forma al molde, esto no podrá hacerse en las técnicas de fusión, en las que el soporte de arena está dentro del horno; al llegar a la temperatura de termoformado toda el agua incluida en el molde se habrá evaporado, y las formas creadas en el molde se habrán desmoronado.



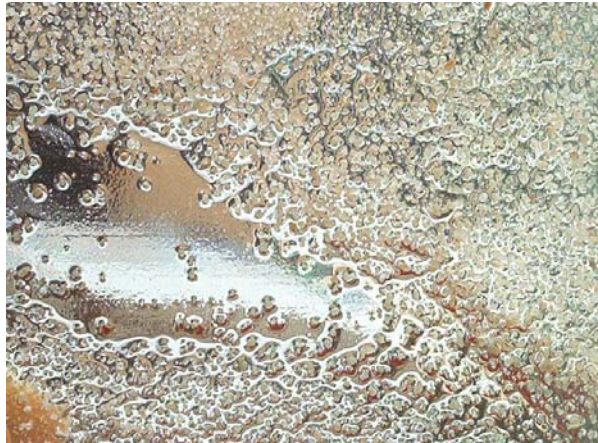
Moldes de arena separados entre sí por barreras de fibra cerámica. La arena está seca y mezclada con distintas materias.

Los desmoldeantes válidos en la técnica de colada (carbonilla creada por la soldadura de acetileno) no sirven aquí; aunque podría sustituirse por grafito en polvo¹⁹¹.

He experimentado diversas mezclas de arena con otras materias para conseguir diferentes texturas y que la arena quede adherida al vidrio en mayor o menor medida:

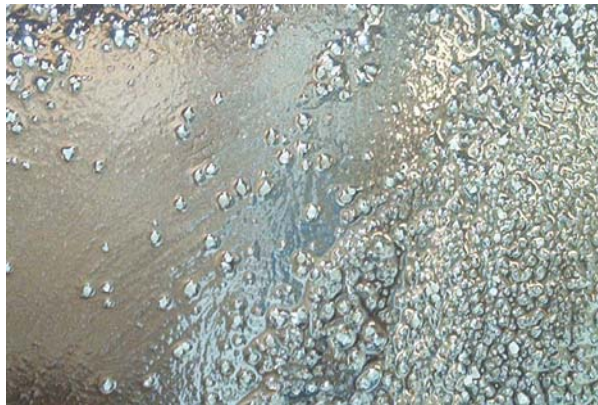
- Arena sola. El resultado es una textura muy marcada, y granos de arena bastante adheridos a la placa de vidrio. Muchos de ellos se desprenden cuando, una vez fría la placa de vidrio, se frotan con un estropajo metálico.

¹⁹¹ MIRIAM DI FIORE, curso *Fusión y termoformado*, mayo 1997, Fundación CNV de La Granja de San Ildefonso.



Detalle de la textura conseguida en una placa de vidrio float de 10 mm de grosor termoformada en un molde de arena sola; los granos están pegados fuertemente al vidrio, excepto en zonas donde no había arena, que actúan como “ventanas”, más transparentes.

- Arena mezclada con un 20% (en volumen) de talco ventilado. El resultado es interesante, porque la arena se pega sólo parcialmente al vidrio, quedando una textura muy marcada pero con poca granos adheridos.



Detalle de la textura conseguida en una placa de vidrio float de 10 mm de grosor termoformada en un molde de arena mezclada con talco ventilado; los granos de arena, recubiertos por el talco, no quedan tan pegados al vidrio, sino que marcan su forma. La zona sin arena tiene marcas creadas en el talco por la brocha que se usó para dar forma al molde.

- Arena mezclada con un 20% (en volumen) de carburo de silicio grano 1100. El carburo de silicio actúa como separador, recubriendo los granos de arena. Estos se desprenden completamente de la placa de vidrio, pero dejan su huella totalmente marcada, con una calidad blanquecina y mate.



Detalle de la textura conseguida en una placa de vidrio float de 10 mm de grosor termoformada en un molde de arena mezclada con carburo de silicio grano 1100; la arena sólo marca su textura, pero donde estaba en contacto con el vidrio queda una huella blanquecina causada por el silicio.

- Arena mezclada con un 20% (en volumen) de separador. Esta es la mezcla que ofrece unos resultados más transparentes; la arena queda pegada al vidrio, pero se desprende fácilmente rascando con los dedos. La huella de la arena en el vidrio es totalmente transparente.



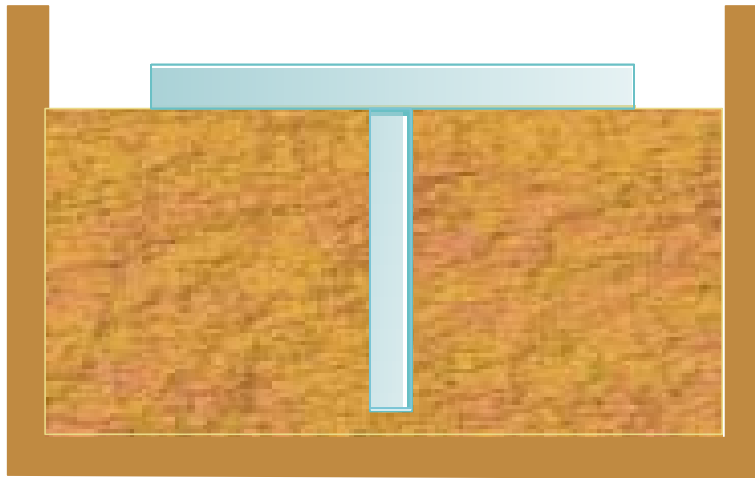
Detalle de la textura conseguida en una placa de vidrio float de 10 mm de grosor termoformada en un molde de arena mezclada con separador Hot Line; la huella de la arena sobre el vidrio queda marcada sin pegarse y tiene un acabado totalmente transparente.

- Arena espolvoreada parcialmente con pumicita. Las zonas donde hay pómez quedan transparentes y con la textura de éste material; las zonas donde hay arena, tienen granos pegados.



Detalle de la textura conseguida en una placa de vidrio float de 10 mm de grosor termoformada en un molde de arena espolvoreada con pómez en polvo; el acabado es bastante transparente y hay una diferencia de textura entre las zonas donde hay más pómez (grano fino) o más arena (grano grueso).

Una ventaja de los moldes de arena es que permiten hacer termocollage con formas verticales, imposibles de conseguir en las técnicas de fusión, tal como muestra el gráfico siguiente:



Sin embargo, lo habitual será utilizar la arena como lecho para crear bajorrelieves y texturas. Pueden utilizarse diferentes tipos de arena, como la arena de sílice y la de rutilo. No es apta para este uso la arena de playa por la cantidad de sal que tiene: se desprendería gas cloro, muy tóxico, durante la cocción, además de deteriorar las paredes y resistencias del horno.



(Derecha) Una placa de vidrio float de 10 mm de grosor termoformada sobre arena de rutilo. Parte de este material queda adherido al vidrio. (Arriba) Detalle de la placa anterior. La textura es muy fina y refleja muy bien la dirección de las pinceladas con las que se extendió sobre la bandeja del horno.

Piedra pómez en polvo o pumicita

Un material que ha resultado especialmente fructífero durante mis experimentos ha sido la piedra pómez en polvo. Se utiliza habitualmente como separador, aunque en ese caso tiene el inconveniente de la dificultad para extenderla de manera que ofrezca una superficie totalmente plana: en húmedo, resulta difícil de trabajar con brocha o cualquier otro instrumento, pues se pega a las cerdas y no a la bandeja del horno, y en seco, espolvoreada con un tamiz, tiene una textura granulada que es muy difícil de alisar.

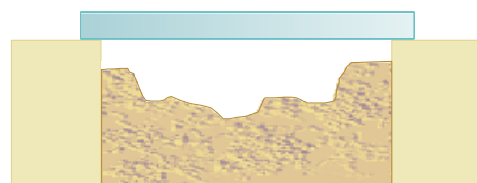
A pesar de estas dificultades, es el mejor separador que he encontrado cuando se quiere que la superficie del vidrio que está en contacto con la bandeja del horno quede pulida y brillante. En el trabajo escultórico, por otra parte, el hecho de que cualquier marca, trazo o textura en la superficie de la piedra pómez en polvo sea copiada perfectamente por el vidrio no es una desventaja, sino una posibilidad expresiva que hay que explotar.

Formas de hacer moldes de pumicita

Si se extiende una capa fina sobre el suelo del horno o sobre una bandeja, pueden crearse sobre ella dibujos, formas y texturas que quedarán marcadas sobre el vidrio.

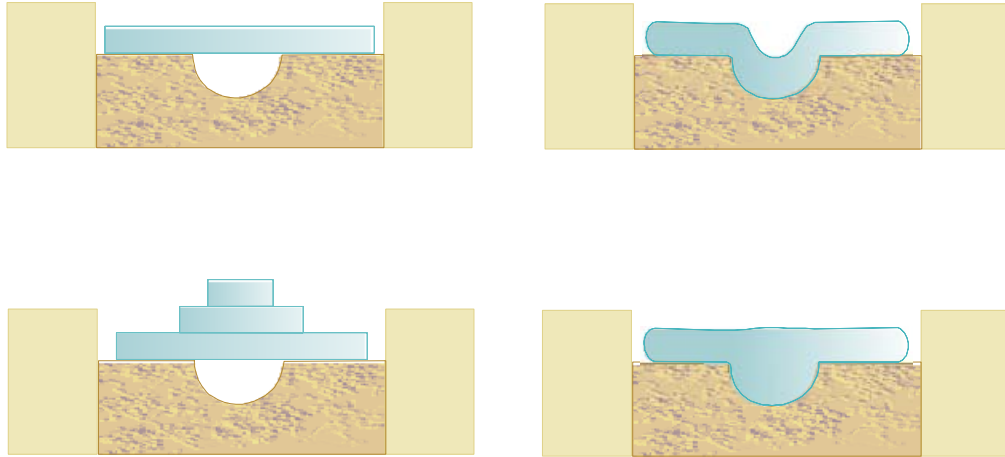
Sin embargo, el procedimiento de trabajo más interesante consiste en poner una gruesa capa de piedra pómez e imprimir sobre ella marcas profundas de objetos o formas creadas con instrumentos diversos: el vidrio las copiará perfectamente. Para contener esa cantidad de piedra pómez es necesario utilizar unas paredes que sujeten el molde, por ejemplo de fibra cerámica.

(Derecha) Esquema de la colocación de pumicita entre paredes de fibra cerámica. El vidrio puede sujetarse sobre la fibra cerámica o directamente sobre la pumicita.



(Izquierda) Varios moldes realizados con piedra pómez y paredes de fibra cerámica metidos en el horno. Atrás puede verse uno mixto de pómez y objetos orgánicos que se pondrán bajo el vidrio.

Si esas formas las creamos con un objeto de caras convexas y pulidas, y comprimimos bien la superficie de la piedra pómez con él, podemos conseguir además efectos ópticos interesantísimos, ya que el vidrio puede adoptar forma de lente si el grosor del vidrio es suficiente.



Con el mismo molde puede conseguirse o no un efecto de lente. Arriba, de izquierda a derecha, puede verse la secuencia antes y después de cocer de una pieza en la que se no se conseguirá ese efecto óptico porque no hay diferencia en el grosor del vidrio; abajo, también de izquierda a derecha, puede verse una pieza antes y después de cocerse, en la que sí se consigue efecto de lente porque sí hay diferencias de grosor en el vidrio .

Los moldes de piedra pómez deben colocarse directamente en el suelo del horno, o en una bandeja ya colocada dentro del horno, puesto que son muy frágiles y no soportan el manipulado.



Esta fotografía corresponde a una obra creada con molde de pómez en polvo; además de las texturas creadas sobre la pumicita, se han utilizado huesos y otros objetos orgánicos que se han quemado bajo el vidrio, imprimiendo en él sus formas.



En esta obra, además del molde de pumicita, se han creado inclusiones en el vidrio con panes metálicos para dar otro efecto de profundidad.

La piedra pómez, una vez cocida, puede recuperarse y volverse a utilizar, aunque conviene que la capa superior de pómez, que está en contacto con el vidrio, sea fresca.



(Izquierda) Dos fotografías de la misma obra creada con molde de pumicita, vista por delante y por detrás.

Carbonato de calcio

Este material se utiliza como separador (con ciertas limitaciones) y puede utilizarse también para crear textura sobre una bandeja de horno. Para ello, basta con mezclarlo con agua hasta que forme una pasta cremosa. Puede extenderse sobre la bandeja del horno con una brocha, o una espátula¹⁹², consiguiendo interesantes efectos pictóricos, o pueden crearse líneas utilizando una jeringa grande de uso veterinario o una manga pastelera¹⁹³.

El carbonato de calcio puede depositarse sobre una bandeja de horno convenientemente preparada con separador. En este caso, el separador absorbe parte de la humedad de la pasta de carbonato de calcio, y éste se seca en unos 10 minutos. Cuando está suficientemente seco puede aguantar el peso de dos láminas de vidrio de 3mm de grosor.

Otra posibilidad es aplicar la pasta de carbonato de calcio sobre fibra cerámica. En este caso, la pasta no se seca tan rápidamente, pero puede meterse en el horno para que se seque, sin sobrepasar la temperatura de 100°C (se craquelaría excesivamente).

Cuando hay que corregir alguna zona, es mejor esperar unos minutos hasta que la pasta se haya endurecido un poco; entonces es posible retirar las partes erróneas y reaplicar pasta nueva.

El carbonato de calcio no debe ponerse en capas gruesas, puesto que no soporta el peso del vidrio y se agrieta con facilidad.

Respecto al aire que pueda quedar ocluido entre el dibujo con carbonato y el vidrio, lo que se dijo respecto al papel de fibra sirve en este caso.

Uno de los inconvenientes del carbonato de calcio es que, a altas temperaturas, reacciona con el vidrio produciendo una superficie empañada. Es mejor hacer cocciones no muy prolongadas, y no elevar la temperatura más de 770°C.

Después de cocerse, el carbonato de calcio puede retirarse del vidrio con agua y un cepillo, o utilizarse un producto que elimine las partes pegadas, como el aguafuerte.

¹⁹² LUNDSTROM, B. (1991), pag. 17.

¹⁹³ MOORMAN, S. (1990), pag. 79.

Otros moldes.

Objetos metálicos

Ofrecen muy buenos resultados porque suelen ser finos y no conservan demasiado el calor. Se dilatan y se contraen muy rápido, igual que el vidrio, y no provocan tensiones.

Sirven los moldes de hierro, acero o bronce muy grueso, aunque este sólo puede usarse una vez, porque en cocciones sucesivas baja su temperatura de fusión, y llega a fundirse antes que el vidrio. Otros metales no sirven, como el aluminio (se funde a muy baja temperatura), o el cobre (es demasiado blando).

Pueden ser muy útiles los moldes metálicos encontrados o comerciales (utensilios domésticos).

El problema que tienen estos moldes es que los separadores resbalan sobre ellos. La solución es la siguiente:

1. Hacer arenar la superficie del molde para que no quede tan pulida. También pueden lijarse.
2. Taladrar los agujeros de ventilación necesarios para que el aire no quede ocluido entre molde y vidrio.
3. Calentar el molde hasta los 100°-150°C.
4. Pulverizarlo con separador muy fino y muy diluido en agua. Puede hacerse con un pulverizador para plantas.

El acero y el hierro hay que calentarlos hasta 850°C con mucha velocidad antes de arenarlos para que salgan el óxido y otras impurezas a la superficie¹⁹⁴.

Moldes experimentales.

En esta sección incluyo algunos moldes, generalmente fungibles, creados con distintos materiales poco habituales en el trabajo con vidrio, como papel y cartón, o aluminio doméstico. El proceso de creación del molde es similar en ambos casos: se crean las formas, y se extiende una capa de separador, que se seca a una temperatura ligeramente inferior a la habitual.

En el caso de utilizar elementos porosos, como el cartón, puede probarse a poner bajo el separador una capa de endurecedor de moldes.

Los resultados de este tipo de moldes son imprevisibles, puesto que se calcinan o funden antes de que el vidrio alcance su temperatura de termoformado.

¹⁹⁴MIRIAM DI FIORE, curso *Fusión y termoformado*, mayo 1997, Fundación CNV de la Granja de San Ildefonso.



Molde experimental, creado con aluminio doméstico arrugado y una capa de separador. El aluminio tiene una temperatura de fusión cercana a los 600°C; con el termoformado alcanzaremos los 780°C. El resultado será totalmente azaroso.



Este molde fungible está hecho utilizando cartón rizado sobre el que se ha puesto endurecedor de moldes y separador. Ha sido horneado a 300° C para eliminar la humedad. Se quemará en el horno antes de llegar a los 500°C y es probable que las huellas que deje en el vidrio sean muy sutiles.



Vidrio termoformado sobre un molde de aluminio doméstico. En la siguiente imagen puede verse un detalle de la textura conseguida.



(Izquierda) Detalle de la textura conseguida termoformando sobre un molde de aluminio doméstico.



(Arriba) Molde de cartón después de cocer el vidrio sobre él. El molde se quema en el horno convirtiéndose en ceniza, pero conservando su forma. Abajo, resultado del termoformado y detalle de la textura conseguida.



III.3. TÉCNICAS DE MOLDEADO DE VIDRIO: CASTING Y PASTA DE VIDRIO.

Los dos procedimientos de trabajo más importantes de moldeado de vidrio que pueden realizarse utilizando un horno cerámico (aparte de los propios del termoformado, ver p. 354 y sgtes.) son el *casting* (en inglés, “moldeado”) y la pasta de vidrio. Comenzaré este capítulo estableciendo algunas precisiones respecto a estos términos.

Con frecuencia, la expresión “pasta de vidrio” es mal empleada, y se extiende a toda clase de obras que presenten incrustación de color, superficie matizada al ácido, etc. Esta ambigüedad viene de la denominación “pasta de vidrio” empleada por Émile Gallé para calificar sus obras en vidrio soplado¹⁹⁵.

En el ámbito del trabajo artístico con vidrio, hay dos técnicas muy distintas que reciben el nombre de *casting*. De una de ellas ya hablé en el capítulo II.1. *Técnicas de trabajo escultórico con vidrio caliente* (ver p. 115 y sgtes.): la colada o *hot casting* (“moldeado caliente”). El *casting* a secas, sin embargo, es una técnica que consiste en llenar un molde refractario con trozos de vidrio (en frío), para después meterlo en un horno cerámico y fundirlo.

Existe también cierta confusión entre *casting* y pasta de vidrio. Ambos modos de trabajar tienen el mismo principio; puede decirse que son variaciones de la misma técnica. Sin embargo, los artistas que trabajan en este ámbito suelen mantener la diferencia y prefieren llamar *casting* a aquellas piezas en las que priman los efectos de transparencia conseguidos, mientras que en la pasta de vidrio predominan los colores y las piezas suelen ser bastante menos traslúcidas, incluso opales. En el primer caso, para las piezas de *casting* se emplean formas en las que predominan las superficies planas o suavemente curvadas, fáciles de pulir, y los moldes se llenan con grandes trozos de vidrio para conseguir la mayor transparencia posible. En cuanto a la pasta de vidrio, se suelen realizar formas muy variadas y complejas, y se llenan los moldes con polvo de vidrio de uno o varios colores, que produce efectos traslúcidos en vez de transparentes.

KOHLER, L. (1998)¹⁹⁶, distingue los siguientes tipos de *casting*:

- *Pâte de verre* (en francés, “pasta de vidrio”), que considera prácticamente diferente al *casting* por su granulometría

¹⁹⁵ MIRBECK, X. (1992), pag. 69.

¹⁹⁶ KOHLER, L. (1998), pag. 89.

- *Frit casting* (en inglés, “moldeado con fritas”) o *chunk de verre* (mezcla de inglés y francés, “trozos de vidrio”), que utiliza partículas de vidrio para llenar la cavidad del molde, pero éstas son pequeñas; cuanto más grandes sean las fritas, más claro será el casting.
- *Fuse casting* (en inglés, “moldeado fundido”), en el que se utilizan grandes trozos de vidrio para llenar el molde. El vidrio queda transparente.
- *Drip casting* (en inglés, “moldeado vertido”), consistente en poner un pequeño crisol o bebedero con un agujero en el centro sobre el molde en el horno. Ese crisol se llena de trozos de vidrio que, al fundirse, cae dentro del molde. Es bueno para moldes profundos y produce un vidrio muy claro.
- *Slump casting* (en inglés, “moldeado caído”), que se refiere a la utilización de un bloque de vidrio preheated de la misma forma y dimensión, dentro de un molde. Produce piezas muy transparentes cuando el bloque de partida es transparente.

A lo largo de este capítulo expondré distintas técnicas relacionadas con casting y pasta de vidrio; para ello haré algunas distinciones entre los procedimientos de trabajo que predominan en uno y otro ámbito. Aunque expondré de modo separado los procedimientos que suelen emplearse, por ejemplo, para hacer moldes en casting, o los que se usan para llenar el molde en pasta de vidrio, quiero dejar claro que muchas veces son procedimientos intercambiables, y las diferencias son más bien de matiz.

III.3.1. Moldes abiertos para casting

Preparación del modelo.

El modelo puede hacerse de arcilla, plastilina, cera de fundición o incluso del natural (a partir de un objeto o de una parte anatómica). Sin embargo, es más frecuente hacerlo en arcilla, porque es muy fácil de modelar y posee una larga tradición como material para la escultura. El color de la arcilla escogida es importante, pues siempre queda alguna traza de ésta pegada a la obra de vidrio una vez cocida. Respecto al color de la arcilla, hay distintos criterios. Algunos artistas de pasta de vidrio utilizan únicamente arcilla blanca, libre de óxido de hierro, que deja sobre la superficie del vidrio una película blanquecina que se funde con la textura irregular de la obra, sin destacar apenas¹⁹⁷. Otros artistas dedicados a casting no consideran que el color de la arcilla tenga importancia, por dos razones: una, que crea textura y variedad en las calidades superficiales del acabado; y la otra, que generalmente pulen sus obras ya sea con abrasivos o con ácido, proceso en el que los restos de arcilla son eliminados¹⁹⁸. Yo creo, sin embargo, que debe escogerse aquel color de arcilla

¹⁹⁷ Kimiaki y Sinichi Higuchi, una pareja de artistas japoneses cuya técnica de trabajo se describe más abajo, insisten en usar sólo arcilla blanca. Ver p. 424.

¹⁹⁸ Milan Handl y Stanislava Grebenickova, artistas checos de casting.

que interaccione mejor con la obra de acabada, tanto por el color del vidrio como por las cualidades formales y el sentido que queramos dar a la escultura.

Las formas modeladas para casting suelen tener superficies planas o curvadas que permitan descubrir mediante el pulido el interior transparente o traslúcido de la pieza. Cuanto mejor hechas estén las superficies durante el modelado, más sencillo será después el trabajo de pulido; no hay que olvidar que pulir es un proceso muy lento y que requiere mucho tiempo, pues algunas formas inaccesibles a las máquinas deben pulirse a mano.



Boceto para escultura con la técnica de casting realizado por los artistas checos Milan Handl y S. Grebenickova en el curso *Escultura en vidrio, casting*, Fundación CNV, noviembre 2001. Las formas de la pieza se han ideado basadas en planos y superficies que jueguen con el paso de la luz a través de ellas.



Modelo en barro rojo según el boceto anterior. Los planos se han realizado cuidadosamente, aunque las superficies no tienen por qué ser perfectamente lisas: el pulido posterior podrá ser total o mantener rugosidades en las zonas donde las texturas sean más profundas, para dar distintas calidades al acabado.

Vaciado del modelo. Obtención del molde refractario.

A partir del modelo es necesario obtener un molde negativo que podamos llenar de vidrio en el horno. El proceso de realización del molde es bastante similar al que se lleva a cabo para cualquier relieve escultórico; las diferencias radican en el tipo de escayola utilizado y en los refuerzos que se colocan en el molde.

La escayola debe ser refractaria. Existen diferentes formas de conseguirla; puede comprarse escayola refractaria para fundición, escayola especial para moldes refractarios de casting o pasta de vidrio, o escayola normal que puede soportar las altas temperaturas gracias a diversos aditivos refractarios¹⁹⁹. Entre estos aditivos, el principal es la sílice, ya sea en forma de arena, ya sea en forma de cuarzo en polvo, que se añade a la escayola en proporciones que van del 50% al 66% (en volumen) de la mezcla.

Una vez modelada la escultura, se prepara un borde de alambre grueso, de entre 3 y 5 mm de sección, que situaremos apoyado en el tablero sobre el que se ha modelado la pieza. También se hace una estructura que la rodee con malla metálica hexagonal; esa estructura debe quedar al menos a 1 cm de distancia de la obra como mínimo. Tanto el alambre como la malla sirven para evitar que el molde de escayola refractaria se resquebraje y se vierta el vidrio caliente dentro del horno.

Los refuerzos de alambre y malla son necesarios sólo cuando se utiliza escayola refractaria de poca calidad (escayola normal con aditivos refractarios, o escayola para fundición); si se va a utilizar otro tipo de material, como cemento refractario de alta calidad, no será necesario utilizar refuerzos. Conviene poner refuerzos en el molde cuando se vayan a realizar piezas de gran tamaño.



Refuerzos de alambre y malla en una escultura realizada por mí.

La siguiente fase consiste en preparar las paredes del encofrado del molde. Se pueden hacer con madera (el conglomerado plastificado va bastante bien), arcilla, o incluso láminas de vidrio plano. Es necesario fijarlas bien para que no se abran, ya sea sellándolas con ayuda de escayola normal, o con gatos de

¹⁹⁹ Ver epígrafe III.3.5 *Materiales refractarios para moldes y pasta de vidrio*, dentro de este mismo capítulo, en el que se explican varias recetas recogidas en la bibliografía y experimentadas por mí (ver p. 343).

hierro en el caso de usar listones de madera. Las paredes de encofrado deben estar al menos a 5 cm. de la obra.



Milan Handl y S. Grebenickova han preparado un encofrado de madera para el vaciado. En la parte izquierda de la fotografía puede verse que han colocado vidrios para que la forma del encofrado se adapte mejor a la de la escultura; de este modo no se gasta más escayola de la necesaria.

Es recomendable poner algún tipo de desmoldeante en las paredes del encofrado y en la base que se usó para modelar la escultura, sobre todo si la superficie es porosa. Puede utilizarse vaselina líquida, parafina, algún tipo de aceite, o una mezcla de petróleo para lámparas y cera.

Antes de comenzar a verter la escayola, es necesario comprobar que la superficie en la que se apoya la obra está totalmente horizontal. Debe utilizarse un nivel. Es importante que quede horizontal, pues contendrá vidrio en estado líquido, y la obra puede quedar desnivelada cuando la cozamos en el horno.

A continuación, se prepara la escayola. La primera lechada debe ser con una mezcla muy fina, que copie bien las formas aunque sea algo más débil. Suele utilizarse escayola mezclada con polvo de cuarzo, amasada bastante líquida. Esta capa se pone sobre el refuerzo de alambre y la malla de gallinero, si las formas de la pieza son sencillas; sin embargo, cuando las formas son complejas, en ocasiones es necesario poner primero la lechada de escayola, llegando a las formas más entrantes con ayuda de brochas o espátulas de escayolista, y después poner la malla, y continuar echando la escayola normalmente.



Las siguientes capas se vierten una vez ha fraguado la primera, y deben hacerse con una mezcla más sólida (por ejemplo, con escayola más sílice), amasada con poca agua. Puede ponerse una malla de gallinero de la misma forma y tamaño que la base del molde, para reforzarlo. Esta segunda malla queda encerrada en la escayola.

Cuando la pieza ha fraguado, se quitan las paredes del encofrado y se biselan los bordes del molde que son las partes que se rompen con más facilidad durante el manipulado. La escayola refractaria es muy frágil, y se deben tomar todas las medidas posibles para evitar roturas.

Se da la vuelta al molde y se saca la arcilla. No conviene lavar el molde con agua, porque debe estar totalmente seco cuando queramos utilizarlo. Además, esta escayola es débil, y con el agua se pierden parte de las texturas más delicadas.



En el molde se ha preparado una superficie de apoyo totalmente horizontal, medida con un nivel. Para ello, se ha utilizado un vidrio apoyado sobre la escayola cremosa. Milan Handl, con el molde en pie, saca la arcilla que se usó para hacer el modelo.

III.3.2. Moldes abiertos para pasta de vidrio²⁰⁰.

Aunque en pasta de vidrio generalmente se utilizan moldes más complejos para producir piezas de formas complicadas, huecas o de grosor uniforme, incluiré un método de moldes abiertos para pasta de vidrio; como se verá, sólo se diferencia del descrito para casting en que en este no se usan refuerzos²⁰¹.

Preparación del modelo. Modelado.

Se modela la pieza en arcilla blanca o gris. La arcilla con óxido de hierro (roja) puede dejar en el molde algunas impurezas que contaminen el vidrio durante el proceso de fusión, haciendo que éste presente incrustaciones o cambio de color. También pueden utilizarse como modelo objetos flexibles que puedan desmoldearse fácilmente.

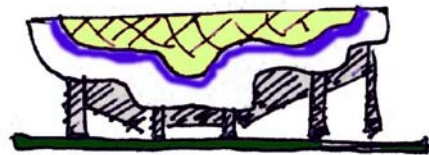
Vaciado del modelo. Obtención del molde refractario.

Tras preparar un encofrado, se cubre la pieza con escayola refractaria. Es muy importante evitar la formación de burbujas en la escayola. Como en otro tipo de vaciados, se pone una capa de aviso, con escayola de otro color en la primera lechada que estará en contacto con el vidrio, para de este modo tener precaución en el desmoldeado, al final del proceso. Cuando esta primera capa haya fraguado, se pone una segunda de refuerzo del color natural de la escayola.

Igual que sucedía en casting, el molde para pasta de vidrio debe reunir dos características: que quede horizontal cuando se asiente en el horno, y que tenga bastante estabilidad; debido a la viscosidad del vidrio líquido, si el molde se inclina puede derramarse su contenido. Por esta razón, una vez ha fraguado la segunda capa de escayola, se ponen una serie de soportes también de escayola refractaria, realizados previamente, que se adhieren al molde con más escayola refractaria.



La obra se modela en arcilla blanca o gris y se recubre con una capa de escayola refractaria.



Se refuerza el molde, engrosándolo y añadiendo soportes realizados previamente con escayola refractaria.

²⁰⁰ Según técnica expuesta por Sinichi y Kimiaki Higuchi, curso *Pasta de vidrio*, Fundación CNV de La Granja, septiembre 1995.

²⁰¹ En pasta de vidrio las temperaturas no suben tanto como en casting, ya que el polvo de vidrio se funde antes que los fragmentos de vidrio. Por esta razón, la escayola no tiene tanto riesgo de resquebrajarse.

Otra manera más sencilla de conseguir una buena estabilidad consiste en lo siguiente: una vez ha fraguado el molde, se pone encima de él una porción de escayola cremosa, y sobre ella un elemento plano (lámina de vidrio, tablero de conglomerado, etc.), cuya horizontalidad se comprueba con un nivel.



Cuando toda la escayola ha fraguado, ya podemos extraer la arcilla.

Modelo obtenido a partir de un objeto flexible o con salida.

Hay que preparar previamente una base de escayola o arcilla, que servirá de soporte al objeto con el que vamos a trabajar. Si optamos por la escayola, convendrá poner una capa de desmoldeante o jabón.



La base de escayola, plana, ha sido preparada previamente. Sobre ella se colocará el objeto, en este ejemplo una hoja de col.

Se encofra la pieza, mediante paredes de arcilla o, si el tamaño lo permite, puede introducirse en un recipiente de plástico.

Se puede trabajar el molde de escayola después de sacar el objeto, por ejemplo, resaltando líneas, introduciendo otros elementos, etc.

Estos moldes descritos para pasta de vidrio son más finos y con menos refuerzos que los que se describieron más arriba para casting. Según los

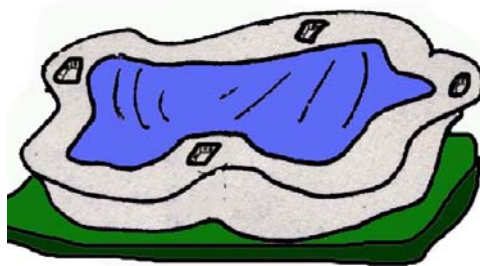
Higuchi, es preferible experimentar hasta conseguir una mezcla refractaria que permita hacer moldes finos y resistentes. En piezas pequeñas (hasta 15 cm. de longitud y 4 de altura) no es necesario utilizar refuerzos para los moldes, sin embargo en las más grandes Sinichi Higuchi emplea fibra de vidrio para reforzar las paredes, ya sea fibra suelta, en cuyo caso se amasa junto con la escayola, o fibra tejida, que se empapa en escayola húmeda y se adhiere a la superficie externa del molde.

III.3.3. Moldes con contramolde para pasta de vidrio.

Los moldes abiertos, descritos hasta aquí, son macizos y tienen un grosor variable, ya que al llenarse de vidrio líquido, quedan rasados horizontalmente. Cuando se quieren conseguir piezas finas o huecas es preciso utilizar contramoldes.

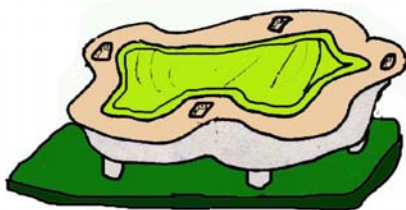
La primera fase en la preparación del molde (modelado, obtención del molde abierto) es como se acaba de describir en el epígrafe anterior.

Una vez extraída la arcilla, pueden hacerse en la superficie plana del contorno del molde una serie de *llaves* o marcas para que ajusten y el conjunto del molde y la "madre" o contramolde (cuya realización explicaré a continuación) cierren perfectamente durante el proceso de fusión del vidrio.



Realización de la "madre" o contramolde. Se coloca en el interior del molde una lámina de grosor uniforme de barro. El grosor de la lámina debe ser semejante al que queramos que tenga el vidrio. El *contramolde* o madre, también en escayola refractaria, quedará en el interior del molde para dar homogeneidad al grosor del vidrio en la escultura.

Se pone desmoldeante en la escayola del primer molde, sobre todo donde hemos puesto las llaves.

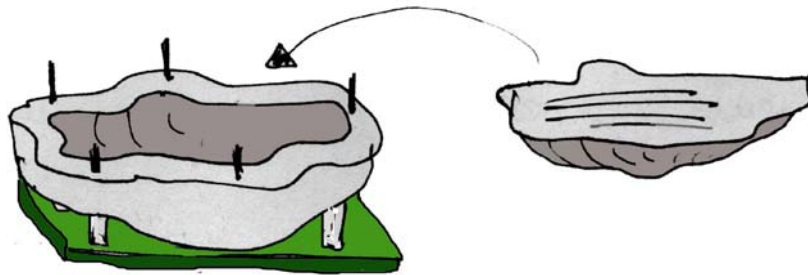


El interior se ha recubierto de una lámina de arcilla, mientras que la escayola ha sido protegida con desmoldeante.

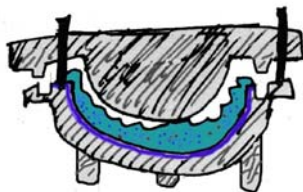
Se vierte escayola refractaria en el molde tapa o madre

Tenemos así dos moldes que encajan y dejan en su interior un hueco para que la pasta tenga un grosor determinado (el de la lámina de barro). No conviene ajustar del todo para permitir que escape el sobrante de vidrio al fundir.

Se refuerza también la tapa. Se fijan en el molde unas varillas de metal, preferiblemente acero inoxidable, que servirán de "guías" para que, al fundirse el vidrio, no se desplace lateralmente el contramolde. Se utiliza el taladro para hacer los orificios en el contramolde, en el lugar exacto.



Se ponen agujeros y bebederos para que se expulse el vidrio sobrante durante el proceso de fusión. Dentro del horno, el vidrio se va fundiendo y va cayendo el molde superior a su sitio por sus guías.

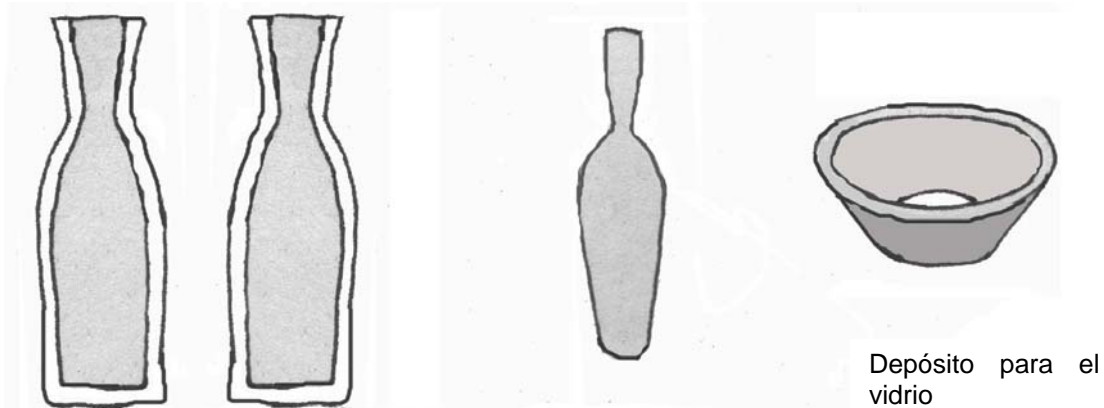


Corte de un molde con contramolde; el vidrio está representado en azul.

Puede ponerse un peso sobre el "contramolde" al meterlo en el horno, si aquél no es lo bastante grande y pesado.

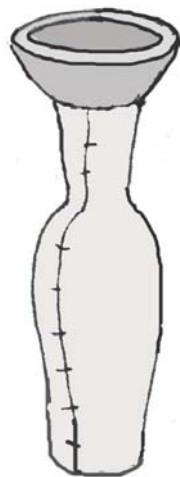


Pueden hacerse moldes más complejos, en los que en vez de haber un solo molde “madre” existan varias piezas para formar el molde, y además un contramolde. Además, en muchos casos puede ser preciso un depósito para el vidrio molido, pues su volumen es mayor que el que tendrá una vez fundido.



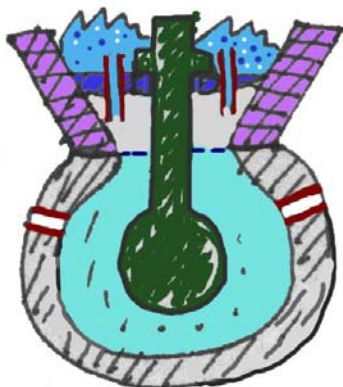
Dos partes simétricas del molde para una obra de pasta de vidrio

Contramolde, o pieza interior para conseguir una obra hueca



Las dos partes del molde se cierran con el contramolde suspendido en el interior, poniendo en la parte de arriba el depósito para el vidrio molido, a modo de bebedero. Se sellan todas las uniones con escayola refractaria.

Si el molde de escayola es muy grueso o grande, conviene hacer en él pequeños agujeros para la salida de gases. El vidrio no escapará si son suficientemente pequeños, debido a su grado de viscosidad.

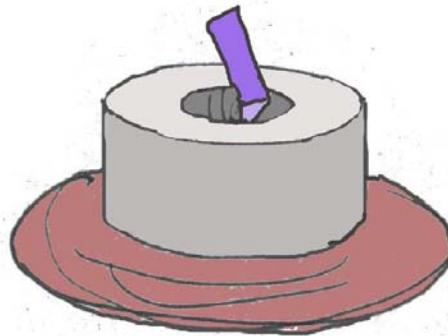


Esquema en corte de una pieza hueca con depósito y con contramolde interno colgante. El depósito aparece en violeta; los bebederos para entrada de vidrio fundido, y los orificios para salida de aire se representan en rojo; el contramolde interior es verde, y está suspendido mediante una pieza fijada en el depósito (en azul).

Se puede conseguir un molde hueco en un torno de alfarero. Se moldea una pieza cilíndrica de escayola refractaria. Después, se adhiere al torno y, mientras éste gira, se talla y torneando con alguna herramienta cortante. Se pueden usar patrones para comprobar simetría, forma etc.



Una pieza así sería el contramolde interno. El molde externo puede hacerse también torneando, o usando el método habitual (una plancha de arcilla cuyo grosor determine el que tendrá la obra acabada, etc.)



Cuando las piezas de pasta de vidrio son macizas, el molde debe ser más grueso que cuando son huecas. Puede hacerse un molde de grosor normal y reforzarlo con una carcasa de arena suelta alrededor; otra posibilidad es reforzarlo sujetando alambres alrededor del molde.

Otra cuestión importante es la forma de la pieza que se quiere conseguir; si tiene entrantes que puedan ocluir burbujas de aire, será necesario hacer pequeños taladros, que se colocarán en las zonas más elevadas de esos rincones. El diámetro aproximado de los taladros debe ser de 2mm; si es más grueso, el vidrio puede salir por ahí.

III.3.4. Moldes con contramolde para casting.

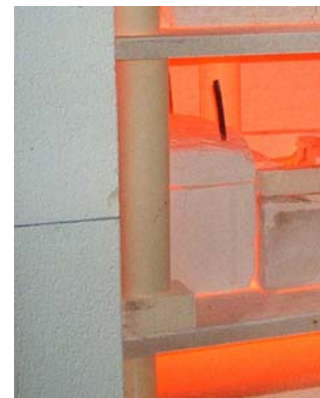
Habitualmente los moldes para casting se hacen abiertos, porque las piezas, como ya he mencionado, suelen ser macizas y buscan conseguir efectos ópticos a través de las calidades transparentes o traslúcidas conseguidas. Sin embargo, hay artistas que emplean contramoldes (es decir, moldes internos) para crear imágenes en el interior del vidrio, como Libensky y Britchkova.



En esta obra de Libensky y Britchkova se ha utilizado un contramolde que, a diferencia de los que se emplean en pasta de vidrio (éstos únicamente se usan para determinar el grosor de las obras), tiene una forma concreta que se imprime, como una zona luminosa, en el interior de la escultura.



Arriba, izquierda: molde de una obra visto desde arriba; derecha: molde anterior más su contramolde, que se encajará invertido sobre aquél. Abajo, izquierda, molde cargado de vidrio, el contramolde se colocará sobre él con ayuda de las varillas. Derecha: el mismo molde dentro del horno. El contramolde ha caído completamente al fundirse el vidrio.



III.3.5. Trabajo con pasta de vidrio y casting a partir de modelos de cera.

El principio básico de esta técnica²⁰² es la realización de objetos y de esculturas en vidrio, ya sea en bajo relieve o en bulto redondo, con la técnica de la cera perdida que se usa en fundición de bronce. El vidrio se lleva hasta la fluidez dentro de un horno de cerámica, en una cazoleta colocada sobre el molde; después fluye desde allí para adaptarse a las formas. Posteriormente será desmoldado y pulido.

El modelo de cera

La obra se modela en cera de fundición, añadiendo el correspondiente cono de colada. Si se quiere jugar con la transparencia del vidrio para conseguir efectos ópticos, conviene utilizar en lo posible superficies planas, accesibles al pulido.

Elaboración del molde según la técnica tradicional

Esta técnica consiste en hacer un molde en escayola refractaria que ofrece una excelente calidad de definición y fidelidad de copia.

Se pone la escultura en cera en una caja y se cuela el yeso. Después, hay que desencofrar (sacar la escayola de la caja) y desencerar. El proceso de horneado se explicará más tarde, y es igual para los moldes elaborados según la técnica tradicional y la que utiliza materiales innovadores.

Elaboración del molde según la técnica de fundición actual

Sobre la cera, se pone con precisión una capa fina de fibra cerámica blanda o en manta, del espesor más delgado posible, y se humedece abundantemente con endurecedor para moldes o sílice coloidal (líquido coloidal inorgánico) usando una pequeña brocha. Hay que renovar la operación hasta la obtención de un espesor de 4 ó 5 mm. Cuando se deja secar el caparazón se pone duro²⁰³.

Modelado de la cazoleta para la fundición del vidrio

La cazoleta se hace de gres chamotada resistente a 1200-1250° C. La mejor forma es la cónica, y el tamaño dependerá de la cantidad de vidrio que deba contener. Se deja secar varios días, tras los cuales se hace una precocción a 200° C durante 24 horas. En el centro de la cazoleta, se taladra un agujero de 8 mm de diámetro.

El molde

El modelo en cera con su carcasa se introduce en una caja que contendrá arena con resinas. La caja se realiza con paneles rígidos de fibra cerámica unidos mediante clavos doblados o alambres. El tamaño de la caja debe permitir meter dentro las manos y el modelo de cera para poder manipular con comodidad, y debe ser al menos tan alta como el borde del cono de colada.

²⁰² En este epígrafe describo la técnica tal como lo hace MIRBECK (1992).

²⁰³ Para esta operación, evitar el contacto con los ojos, la piel, y la ropa. Utilizar guantes de plástico, gafas y una máscara de protección.

El cono de colada se protege con un plástico antes de poner la arena en la caja.

La arena debe ser fina, y está mezclada con resinas para su endurecimiento. MIRABECK (1992) indica la siguiente fórmula:

“Se utilizan tres componentes, en solución en un disolvente de petróleo.

- a) Resina formo-fenólica
- b) Un catalizador líquido derivado de la piridina
- c) Un polisocianato.

Un mezclador potente es indispensable para mezclar las resinas con la arena.

Para cuatro litros de arena, es necesario 680 g.:

- Parte A: 97,2 g. o 87,57 ml., mezclado con la arena durante un minuto y medio como mínimo.
- Parte B: 2,85 g. o 3,00 ml., mezclado con la arena durante un minuto y medio como mínimo.
- Parte C: 100,20 g. o 87,89 ml. Premezclar C en una pequeña cantidad de arena sobrante durante 2 o 3 minutos mínimo, después mezclar un minuto y medio con el conjunto.”

Una vez hecha la mezcla de arenas y resinas, hay que llenar rápidamente la caja de fibra cerámica rígida en la que está la cera en posición vertical. Deben utilizarse guantes para esta operación.

Preparación del horneado

El principio básico de horneado consiste en crear una *masa térmica*, es decir, un grupo de sustancias refractarias que permitan acumular y conservar el calor largo tiempo, facilitando así tanto el ahorro de energía, como el enfriamiento gradual hasta la zona de recocido.

Se empieza construyendo una especie de *cofre* refractario; para ello, se montan unas paredes de ladrillos refractarios (40% de alúmina) dentro del horno, sobre el suelo, para después poner en el interior (fondo y costados) una capa de fibras cerámicas de 12 a 15 mm de espesor.

En el fondo de este cofre, se hace un lecho de chamota (granulometría 5 o 6 mm de diámetro) de unos 5 cm de espesor; después se pone encima la caja de silicato de calcio conteniendo la cera y la arena.

El espacio sobrante entre la caja y los ladrillos será de al menos 5 cm. Este hueco debe llenarse con chamota a fin de conseguir la masa térmica que se mencionó más arriba.

Si varios moldes se hornean al mismo tiempo, se comenzará por el más alto; se irá añadiendo chamota en el suelo para subir la altura de los más bajos. Todos los conos de colada deben quedar al mismo nivel.

La cazoleta con el vidrio para fundir se coloca sobre unas barras cerámicas, que irán apoyadas en los ladrillos o en la chamota. Para que las barras sean horizontales, el nivel se regula con piezas refractarias.

La cazoleta, con la cantidad de vidrio necesaria, debe coincidir verticalmente sobre el cono de colada de la obra en cera.

Si los trozos de vidrio son gruesos, el resultado se acercará a la transparencia. Si el vidrio es en polvo, se obtendrá una infinidad de burbujas diminutas, que harán que el vidrio tenga una apariencia traslúcida.

En el transcurso de la cocción, la arena se vuelve de nuevo blanda, en su estado natural. Puede recuperarse para la próxima cocción, al igual que la chamota situada alrededor del molde.

El vidrio frío se cepilla bajo un chorro de agua. A continuación se realizan las técnicas correspondientes de acabado en frío.

III.3.6. Materiales refractarios para moldes de pasta de vidrio y casting.

Escayolas refractarias

Como puede deducirse de los epígrafes anteriores, los moldes que se describieron para casting son más gruesos y reforzados que los descritos para pasta de vidrio. Esto se debe a varias razones; una de ellas es que la granulometría del vidrio empleado para pasta es muy fina, y por tanto necesita menos calor para fundirse; la escayola no debe soportar temperaturas tan elevadas, y existe menos riesgo de roturas.

Es interesante conseguir moldes lo más finos posibles por varias razones; en primer lugar, las económicas (y ecológicas), puesto que es preferible usar la menor cantidad posible de material, y crear la menor cantidad posible de escombros; pero también hay razones técnicas, pues un molde grueso es una masa térmica pegada al vidrio que no siempre es interesante, pues ralentiza los procesos de calentado y enfriamiento. Pueden experimentarse distintas recetas de escayolas refractarias hasta conseguir una que, con un grosor mínimo, ofrezca buenas condiciones de refractariedad y de resistencia.



Dos moldes de distinto tipo de escayola, ambos para casting.

Las cualidades que debe reunir una buena escayola refractaria para moldes de casting y pasta de vidrio son las siguientes:

- Buena capacidad de copia del modelo.
- Fraguado razonablemente rápido.
- Dureza y resistencia al manipulado antes de la cocción.
- Resistencia al calor dentro del horno, agrietándose lo menos posible.
- Facilidad de desmoldado del vidrio una vez fundido.
- No debe dejar demasiados residuos pegados al vidrio después de fundirse.
- Disponibilidad y precio adecuado.



Moldes de casting con distintas mezclas de escayola refractaria; están dentro del horno a la temperatura de 900°C. Quiero resaltar las diferentes cualidades refractarias de las mezclas: algunos moldes aparecen con grandes grietas (arriba, a la izquierda), mientras otros no tienen apenas ninguna (abajo a la izquierda, y a la derecha).

He probado las siguientes escayolas refractarias:

1. Escayola refractaria para fundición y recubrimiento de hornos. Debe amasarse con poca agua, y durante bastante tiempo para que se vuelva realmente refractaria. La he utilizado en moldes pequeños para casting, (dos piezas de 14 x 4 x 4 cm en sus dimensiones máximas) reforzados con malla metálica y alambre. Los resultados son muy buenos; es una escayola que copia bien, y, aunque tarda mucho en fraguar, resulta bastante resistente. Los usé en una temperatura de 900°C con fragmentos de vidrio float de Cristalería Española, y no surgieron grandes grietas que quedaran

marcadas en el vidrio. Una vez cocida, es fácil de desmoldar y apenas deja residuos en la superficie del vidrio. Si hay que indicar un inconveniente, es que debe hacerse un molde bastante grueso (más de 3 cm) porque se agrieta algo a altas temperaturas.

2. Escayola refractaria especial para moldes de vidrio, tanto para termoformado como para casting y pasta de vidrio. Cuando se amasa adecuadamente tiene buenas cualidades refractarias, aunque tarda bastante tiempo en fraguar y es muy frágil durante el manipulado anterior a la cocción. Esta escayola debe amasarse con muy poca agua. De lo contrario, es tan blanda que incluso los fragmentos de vidrio introducidos dentro del molde dejan marcas en él. Otro inconveniente de esta escayola es que, una vez la masa empieza a estar cremosa, debe dejar de utilizarse, pues si se modela en ese estado “se muere” y no llega a fraguar²⁰⁴. Los moldes deben ser gruesos (al menos 2 cm) y reforzados. Ofrece unas excelentes cualidades de refractariedad, pues apenas se agrieta en el horno, por lo que es muy recomendable para piezas grandes. Sin embargo, es cara y difícil de conseguir.
3. Misma escayola anterior, reforzada con fibra de vidrio²⁰⁵. Las cualidades refractarias y de dureza no se alteran, pero el molde es algo más resistente. Conviene tener cuidado con la fibra de vidrio, pues si no se pone con escayola bastante húmeda, no se empapa bien y se rompe el molde justo por donde se puso el refuerzo.



²⁰⁴ He comprobado que cuando al cabo de más de 12 horas la escayola de este tipo no ha fraguado, puede introducirse el molde en el horno para hacer con él un proceso de secado, de al menos 8 horas de duración, pasando lentamente de los 100º (primeras cuatro horas) a los 200ºC, tras del cual se deja que la escayola se enfríe por inercia térmica en el horno. Después del secado la escayola refractaria de este tipo se hace suficientemente resistente.

²⁰⁵ Tomé esta idea de Sinichi Higuchi, que refuerza sus moldes con fibra de vidrio.

4. Escayola refractaria para fundición y recubrimiento de hornos mezclada con arena de sílice en la siguiente proporción: una parte (en volumen) de escayola por dos de arena/cuarzo²⁰⁶. El resultado es malo: la arena impide que la escayola fragüe adecuadamente, y el resultado es un molde frágil del que ni siquiera se puede extraer el positivo de arcilla. La escayola refractaria de este tipo no da buenos resultados con sílice, aunque sí con otras escayolas (ver más adelante, mezcla 13).
5. Escayola normal (dureza 35) mezclada con arena de sílice fina (en primera capa, se mezcla sólo con cuarzo molido para copiar mejor las formas)²⁰⁷. Proporción de la mezcla: una parte (en volumen) de escayola por dos de arena o cuarzo. El resultado es variable; cocí cuatro piezas que realicé con esta mezcla, con distintos tipos de vidrios (sodocálcico de La Granja, borosilicato de Duran, y float de Cristalería Española) y a distintas temperaturas entre los 900°C y los 950°C. Uno de los moldes, el de la pieza más pequeña (6 x 3 x 4 cm), se rompió durante la cocción y, aunque el vidrio no llegó a derramarse, quedaron marcadas las cicatrices de las grietas en la obra. Sin embargo, otras piezas tuvieron resultados excelentes, ya que la mezcla copia bien y es suficientemente resistente al manipulado si se hace con cuidado. Posiblemente la más pequeña se rompió porque el grosor de las paredes del molde era inferior a 4 cm. Los moldes deben ser gruesos y reforzados con malla metálica y alambre, porque se agrietan mucho en el horno a altas temperaturas. La ventaja de esta mezcla es su precio, muy barato, y la desventaja, la necesidad de hacer paredes muy gruesas (más de 5 cm de grosor) y reforzadas con malla y alambre.



En esta pieza de vidrio de borosilicato, moldeada con esta mezcla, puede verse la cicatriz de la rotura del molde, que la atraviesa horizontalmente.

6. Escayola normal (dureza 35) mezclada con arena de sílice fina (en primera capa se pone cuarzo molido para copiar mejor las formas). Proporción de la mezcla: una parte (en volumen) de escayola por una de arena/cuarzo. Esta mezcla es similar a la anterior, pero con menos arena/cuarzo²⁰⁸. He probado esta mezcla en dos piezas grandes de casting, una de ellas de 28 x 12 x 4 cm, y la otra de 25 x 7 x 15 cm, que se llenaron con vidrio float de Cristalería Española. La segunda de estas piezas llevaba un contramolde con la misma proporción arena-escayola. Los moldes se manipulan bien

²⁰⁶ Mezcla probada por Milan Handl y Stanislava Grebenickova en el curso citado.

²⁰⁷ Mezcla probada por Milan Handl y Stanislava Grebenickova en el curso citado.

²⁰⁸ WALKER, B. (2000), pag. 111.

antes de cocerlos, y son menos delicados que la mezcla anterior; sin embargo se agrietan más en el horno. Deben ser lo bastante gruesos (más de 5 cm de grosor) y llevar refuerzos metálicos (malla y alambre).

7. Misma mezcla anterior (una parte (en volumen) de escayola por una de arena/cuarzo), reforzada con fibra de vidrio, con un grosor de molde de 3 cm.
8. Escayola normal (dureza 35) mezclada con cuarzo molido, pumicita y sepiolita. En este caso, busqué una mezcla que permitiese una primera capa refractaria que copiase bien las formas, dejando pocos residuos (la pumicita y el cuarzo sirven para esto), y unas capas de refuerzo porosas y resistentes (para ello añadí sepiolita). Proporciones de la mezcla para la primera capa: dos partes (en volumen) de escayola, una parte de cuarzo y una parte de pumicita. Proporciones de la mezcla para la segunda capa: dos partes (en volumen) de escayola, $\frac{1}{2}$ parte de cuarzo molido, $\frac{1}{2}$ parte de pumicita y 1 parte de sepiolita. Utilicé esta receta en dos moldes dobles para casting (de dos piezas cada molde, reforzadas con malla y alambre individualmente; cada pieza medía aproximadamente 11 x 4 x 4 cm). Se llenaron con vidrio reciclado de envases, y se cocieron a 900°C. El resultado es bueno en cuanto a su resistencia al manipulado antes de cocer y calidad de copia de los modelos. Hay que tener cuidado con la sepiolita, pues acelera el fraguado y dificulta el vertido de la mezcla. Como en los casos anteriores, las principales ventajas son la facilidad de manipulado (esta mezcla no es frágil antes de cocerla) y su bajo precio, y la desventaja el grosor del molde y los refuerzos metálicos necesarios.



Molde realizado con esta receta, lleno con vidrio molido procedente de casco, después de fundir en el horno. Aún no se ha desmoldeado; pueden verse enormes grietas que se produjeron durante el calentamiento y el enfriamiento del molde.

9. Escayola normal (dureza 35) mezclada con chamota fina y chamota gruesa. El objetivo que perseguía al experimentar esta receta era testar las cualidades refractarias de un material alternativo a la sílice, como la chamota. Proporción de la mezcla: una parte (en volumen) de escayola por una de chamota, que se usó fina en la primera capa y gruesa en las de refuerzo²⁰⁹. El principal problema de esta mezcla es que la chamota gruesa, muy pesada, va siempre al fondo del molde, a no ser que la vertamos

²⁰⁹ Receta basada en las indicadas por LUNDSTROM, B. y SCHWOERER, D. (1983) para moldes de termoformado.

cuando ya está cremosa, pero esto dificulta un buen copiado del modelo. Además, esta mezcla es muy débil antes y después de cocerse; se rompe con facilidad y es preciso hacer moldes muy gruesos.

10. Escayola normal (dureza 35) mezclada con cuarzo en polvo, sílice y restos de moldes refractarios cocidos²¹⁰. Cuando experimenté con esta receta buscaba reciclar el material refractario sobrante de los moldes anteriores. Proporción de la mezcla: una parte (en volumen) de escayola por una de cuarzo molido para la primera capa; en las siguientes, el cuarzo molido se sustituye por una parte de moldes triturados, y $\frac{1}{2}$ de sílice.
11. Escayola normal (dureza 35) mezclada con cuarzo en polvo y fibra cerámica triturada²¹¹. En esta receta buscaba dar refractariedad, ligereza y porosidad a la mezcla utilizando fibra cerámica. Proporción de la mezcla: una parte (en volumen) de escayola por una de cuarzo molido para la primera capa; en las siguientes, el cuarzo molido se sustituye por una parte de fibra triturada, y $\frac{1}{2}$ de sílice.
12. Escayola normal (dureza 35) y cemento refractario²¹². Proporción de la mezcla: dos partes (en volumen) de escayola, por una parte de cemento. Esta mezcla fue experimentada con pasta de vidrio llegando a los 820°C; copia mal y se desmoldea con dificultades, aunque no se agrieta en el horno incluso con paredes finas (1-2 cm de grosor).
13. Escayola Álamo 69 y escayola refractaria para fundición y recubrimiento de hornos²¹³. Proporción de la mezcla: dos partes (en volumen) de Álamo 69 por tres partes de escayola refractaria. Esta mezcla fue probada con pasta de vidrio, en una pieza de tamaño medio (25 x 15 x 5 cm), con vidrio de plomo, a una temperatura máxima de 810°C. Tiene buena refractariedad y fragua bien. Es dura incluso después de la cocción, aunque, una vez lavadas, no deja trazas en las piezas de vidrio. Es una mezcla muy buena para utilizar en paredes finas (2-3 cm) y sin apenas refuerzos.

Moldes de fibra cerámica.

Ya describí más arriba un método de trabajo que incluía la creación de moldes de fibra cerámica, cuando expuse la adaptación de las técnicas de fundición de bronce a las de pasta de vidrio y casting. Ese sistema era en realidad el mismo que se usa cuando se hacen moldes de manta cerámica húmeda, que es al fin y al cabo una fibra cerámica empapada en endurecedor de moldes.

Pueden hacerse, por tanto, moldes para casting y pasta de vidrio utilizando manta cerámica húmeda²¹⁴, siguiendo el mismo procedimiento que se expuso en el capítulo dedicado a termoformado. Los moldes de fibra cerámica para casting y pasta de vidrio pueden ser abiertos o cerrados, de un solo molde o con contramolde, igual que los de escayola refractaria. Si se quiere emplear el

²¹⁰ Idem.

²¹¹ Idem.

²¹² Mezcla probada por Kimiaki y Sinichi Higuchi en curso citado.

²¹³ Idem.

²¹⁴ MOORMAN, S. (1990), pag. 101.

molde varias veces, hay que procurar que tenga salida o que sea desmontable, ya que de lo contrario sería preciso romperlo para poder extraer el vidrio después de fundido.

En este tipo de moldes es necesario prever que el vidrio ocupará más espacio antes de fundirse; será necesario que las paredes del molde tengan más altura que la que se quiera dar a la pieza de vidrio, o que tengan un bebedero.

También pueden construirse moldes de plancha de fibra cerámica rígida, ya sea levantando paredes verticales o apilando varios tableros hasta lograr la altura deseada para el molde.

Siempre que se usa fibra cerámica es necesario utilizar un endurecedor de moldes (la manta húmeda ya lo trae) que debe cocerse en el horno antes de utilizarlo con vidrio.

Moldes de gres

El gres chamotado es un material de excelentes condiciones de refractariedad y resistencia, lo que permite hacer moldes duraderos y sólidos con él. Pero las paredes del molde deben ser muy finas porque retiene mucho el calor y puede provocar choques térmicos en el vidrio. Además debe ser poroso para que puedan expulsarse las burbujas de aire, o tendrán que hacerse orificios en los lugares donde puedan quedar atrapadas burbujas.

Es indispensable que todas las formas realizadas con estos tipos de molde tengan salida. El gres es rígido y tener que romperlo supondría posiblemente romper también la obra de vidrio. Además, debe utilizarse siempre un separador para alta temperatura.



Molde en gres chamotado, en dos piezas desmontables. La parte de arriba es el bebedero, que se ha hecho en una sola pieza con el molde. Debe cocerse a 900°C y debe ponerse separador antes de poder usarse con el vidrio.

III.3.7. Distintos vidrios que se pueden utilizar en casting y pasta de vidrio.

Para realizar obras con estas técnicas puede utilizarse prácticamente cualquier tipo de vidrio, siempre que se respeten ciertas condiciones:

- La compatibilidad. Si se quieren mezclar vidrios de distinta procedencia hay que asegurarse de que tienen coeficientes de dilatación próximos; de lo contrario, la pieza se romperá al enfriarse.
- La temperatura necesaria para fundir. Como se utilizará un horno cerámico cuya temperatura máxima es 1300°C, cualquier vidrio que se elija debe tener una temperatura de fusión más baja. Por ejemplo, con el horno cerámico no se pueden utilizar para llenar los moldes los preparados para fundición de vidrio en crisol (mezclas de sílice y fundentes preheated, llamadas *batch* o *pellets*, que precisan 1400°C para convertirse en vidrio).
- La resistencia a la desvitrificación, sobre todo cuando queramos conseguir transparencias. Cuando se utilizan moldes gruesos (como los de casting) se suben y bajan más lentamente las temperaturas, y los riesgos de desvitrificación son mayores. En ocasiones, esta desvitrificación no sólo aparece en la superficie de la pieza de vidrio, sino también en su interior.

He experimentado con distintos tipos de vidrio, algunos específicos para casting o pasta de vidrio, y otros adaptados para este uso a partir de los disponibles a mi alrededor.

Vidrio float de Cristalería Española.

Este vidrio, que parece totalmente transparente cuando tiene menos de 4 mm (el grosor habitual para las ventanas), es en realidad de color verde agua. Cuando se llenan moldes con él, aparece este tono verde con gran intensidad.



Pieza de casting hecha con vidrio de ventana "blanco" transparente, que es verde en realidad.

Utilizar este vidrio tiene la ventaja del precio (pueden usarse restos y recortes triturados), pero tiene también la desventaja del color, ya que es difícil mezclarlo con fritas o esmaltes sin que queden colores sucios. Otra desventaja

es la tendencia a la desvitrificación; no sólo la superficie del vidrio aparece blanquecina, sino que también existen veladuras en el interior de la obra, alrededor de cada fragmento de vidrio.

La superficie de las obras fundidas con este vidrio adquiere un reflejo que limita la transparencia, y es necesario utilizar técnicas de pulido en frío para que pierda el aspecto acaramelado.



Tras el pulido, se recupera parte de la transparencia y la apariencia de vidrio.



La misma obra antes y después de pulir; aunque no queda transparente debido a las desvitrificaciones internas, recupera su aspecto vítreo



El vidrio float gris, que se testó en la parte de esta tesis dedicada a la fusión, y se mostró compatible con el transparente (ver capítulo *Distintos tipos de vidrio para las técnicas de fusión*), puede utilizarse solo o mezclado con aquél para conseguir distintos efectos y matices de color.

Vidrio reciclado de envases.

Puede obtenerse en varios tonos: transparente, ámbar, verde, marrón... En este tipo de material hay que tener gran cuidado con la compatibilidad. No se pueden mezclar distintos tipos de envases entre sí, a no ser que testemos su compatibilidad previamente fundiéndolos y mirándolos a través de un polariscopio. Aunque generalmente los envases de un mismo producto suelen estar hechos por el mismo fabricante, puede suceder que sean de distinta hornada y que no mantengan la misma composición.

Existen dos formas de convertir este vidrio en fragmentos. La más simple y directa es envolver en periódicos los envases y triturarlos con un martillo; otra forma es romperlos por choque térmico. Para ello, se calientan en el horno hasta los 650°C, y a continuación se introducen en un cubo metálico con agua fría para que se craquelen. Hay que utilizar guantes antitérmicos para coger los envases calientes.

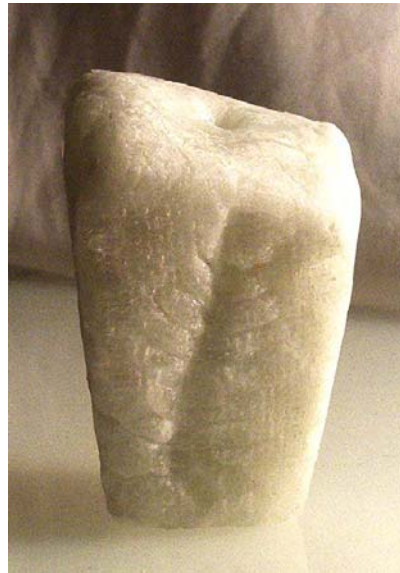


Derecha: utilizando una herramienta, pueden romperse los cascos craquelados en fragmentos más pequeños.



Cuando se han craquelado, se desmenuzan fácilmente y de un modo bastante homogéneo.

Los vidrios rotos por choque térmico no quedan transparentes después de fundirse, sino totalmente opalescentes, debido a la enorme cantidad de fisuras y de aire ocluido que provoca microburbujas.



Pieza fundida utilizando vidrio reciclado de envases de tónica; se rompieron mediante choque térmico y el resultado es un blanco totalmente opal.

La única ventaja que tiene este material es su bajo coste; los envases pueden conseguirse gratis, pero es necesario romperlos, lo que supone tiempo y dinero.

Vidrio plúmbico (cristal)

Este vidrio es de una gran calidad por su transparencia y brillo, y además tiene un bajo punto de fusión, lo que facilita el trabajo con hornos cerámicos. Lo he usado en piezas de pasta de vidrio, en las que se empleó como vidrio de base el casco procedente del horno de los maestros vidrieros de la Fundación CNV de la Granja. Es un tipo de vidrio muy difícil de conseguir, pues no tiene un canal de distribución estable, sino que depende de las circunstancias de producción de dicho horno.

Vidrio Kugler (*overlay*)

Esta fábrica alemana produce una enorme gama de colores de vidrio, con un COE aproximado de 96; sus tonos suelen emplearse para pasta de vidrio. Los he utilizado en la realización de dos obras, una pequeña y otra de tamaño

medio, en los dos casos combinadas con cristal de plomo de La Granja (que ya se mencionó más arriba).

Este tipo de barras tiene unos colores muy intensos; generalmente se trituran en un molino de bolas y se mezclan en proporciones fijas con vidrio transparente en polvo para crear gradaciones de tonos y mezclas de colores. Siempre hay que testar estas mezclas antes de usarlas en una obra, pues algunos colores después de cocidos pueden tener reacciones químicas adversas.



Obra de pasta de vidrio hecha utilizando como modelo una planta natural; el vidrio de color es Kugler y se mezcló con vidrio plúmbico de La Granja.

Vidrio sodocálcico para fundición

Los cascos de vidrio transparente sobrantes de los hornos de crisol resultan un material muy bueno para casting, tanto por su grosor como por su calidad y transparencia. Este tipo de vidrio lo he utilizado en una pequeña pieza de casting, que llené con casco procedente de la Escuela del Vidrio de la Fundación CNV de la Granja. Como en el caso del vidrio anterior, resulta difícil de conseguir.



Escultura realizada en vidrio sodocálcico para fundición procedente de La Granja.

Vidrio de borosilicato.

Este tipo de vidrio puede conseguirse en barras de hasta 3 cm de grosor. El que yo he utilizado lo produce la empresa Duran en barras de 1 cm de grosor. Lo he empleado en cuatro obras, y resulta muy transparente y con muy pocas burbujas. Una de sus mejores cualidades es la resistencia a la desvitrificación. Tiene buenas cualidades ópticas, aunque no tanto como el cristal. Puede mezclarse con colores y óxidos con buenos resultados, aunque su coeficiente de dilatación es muy bajo y hace difícil conseguir esmaltes compatibles.



Pequeña pieza realizada en vidrio de borosilicato; se han mantenido los restos de barro rojo para resaltar las texturas. El vidrio es muy transparente y apenas deja burbujas.

Vidrio Bullseye.

Lo he utilizado de dos formas: en restos (llamados "patties") de vidrio transparente blanco (incoloro) que son trozos gruesos e irregulares de vidrio compatible, y en hojas transparentes y de colores de 3 mm de grosor. El vidrio claro es realmente transparente, a diferencia del float. Pueden conseguirse piezas de casting con muy pocas burbujas y desvitrificaciones internas.

Una ventaja de este tipo de vidrio es la posibilidad de utilizar una amplia gama de productos compatibles, incluido vidrios y fritas de la misma marca, cuyo coeficiente de expansión térmica ha sido testado. Las grandes desventajas son el elevado precio y la dificultad de adquisición, pues tiene pocos proveedores en Madrid, y generalmente hay que encargar el material con bastante antelación.

Vidrio Spectrum compatible system 96.

He conseguido este material únicamente en hojas; también se vende en casco para casting, pero el pedido mínimo es de una tonelada. El resultado es aceptable y tiene las mismas ventajas que el Bullseye respecto a la posibilidad de utilizar productos compatibles.

Fritas y vidrio en polvo Bohle COE 83.

En algunas pruebas de pasta de vidrio se ha utilizado este material, ya sea combinado con float, ya sea usado como único material. Solamente sirve para pasta de vidrio, pues la granulometría de este producto es demasiado pequeña

para conseguir transparencia. En este caso, no tienen demasiada importancia ni la formación de burbujas (es inevitable) ni la desvitrificación interna (la pieza resultante es apenas algo traslúcida). Es un material costoso y difícil de conseguir (hay que encargarlo con varios meses de antelación).

III.3.8. Llenado de los moldes

Cálculo de la cantidad de vidrio necesaria.

Existen dos procedimientos: cálculo del volumen de vidrio, y cálculo del peso del vidrio. En los dos casos hay que comenzar por llenar el molde con alguna materia que permita averiguar su volumen. Puede utilizarse agua o arena²¹⁵, que deben quedar bien rasadas con la parte superior del molde.

- Cálculo del volumen del vidrio necesario. El agua o la arena se vierten en un recipiente graduado para medir el volumen; a continuación, se calcula el mismo volumen en vidrio. Para ello, se puede poner vidrio en un cubo con agua, graduado también, hasta que el nivel del agua suba el equivalente al volumen calculado para el molde. Ese vidrio se saca del cubo y, o bien se seca y se utiliza, o se pesa y se pone dentro del molde el mismo peso de vidrio seco (el vidrio debe ser del mismo tipo, para que tenga el mismo peso específico).

Este método es poco exacto.

- Cálculo del peso de vidrio necesario. El agua que contenía el molde se pesa, y se multiplica por el peso específico del vidrio que vamos a utilizar. Sabemos que el peso específico del agua es 1, y conocemos el de ciertos tipos de vidrios:

- Float de Cristalería Española: 2,6
- Borosilicato: 2,4
- Sodocálcico de envases: 2,6 (aprox.)
- Cristal: entre 3 y 4 (existen variaciones según la proporción de plomo que contenga)
- Bullseye: 2,6

El resultado de multiplicar el peso del agua por el peso específico del vidrio elegido, es el peso de vidrio que necesitamos para nuestro molde.

Existe también un método para calcular la cantidad de vidrio necesaria cuando se utiliza un molde con contramolde. Se llena el molde “madre” con agua, se vierte esa agua en un recipiente y se pesa. Después se coloca el molde “madre” dentro de un barreño vacío; se llena nuevamente con agua y se coloca encima el contramolde hasta que ajuste en su lugar. El agua que se expulse caerá en el barreño, y la pesaremos. Restando el peso de esta segunda cantidad de agua, del peso total de agua del molde madre, obtendremos el peso del agua contenida entre molde y contramolde, y se podrá multiplicar por el peso específico del vidrio elegido.

²¹⁵ Milan Handl y S. Grebenickova recomiendan utilizar arena fina para no añadir más humedad al molde de casting, ya que éste debe estar bien seco antes de hornearse. Sin embargo, los Higuchi usan agua porque no consideran importante que esté bien seco el molde (la humedad del molde puede opacificar el vidrio, pero esto no supone un problema para la pasta de vidrio).

La principal diferencia entre las técnicas de casting y pasta de vidrio, como se ha venido diciendo hasta ahora, se produce en el momento del llenado de los moldes. Mientras que el casting utilizará los trozos más grandes que sea posible, para evitar la formación de burbujas, la pasta de vidrio utiliza sobre todo vidrio en polvo; el aire que inevitablemente contiene el polvo de vidrio provoca que se produzcan miles de microburbujas que opacifican la obra, dándole un tono blanquecino.

El vidrio en casting.

Cuanto más grandes sean los trozos de vidrio utilizados, menos burbujas de aire se crearán en su interior. Sin embargo, el tamaño de los trozos puede ser una herramienta creativa, pues al mezclar entre sí distintos tamaños de fragmentos de vidrio, se consiguen efectos plásticos variados en el interior del vidrio.

- Trozos grandes (más de 20 mm en cualquiera de sus dimensiones). Dejan muy pocas trazas y apenas quedan burbujas. Es el método que suele utilizarse en grandes esculturas en las que se quieren conseguir efectos ópticos.



Taller Lhotsky en Praga, donde se van a hornear dos grandes piezas de casting, llenas con grandes barras de vidrio.

Cuando se llena un molde, hay que tener en cuenta que el vidrio ocupa más espacio antes de fundirse; hay que calcular previamente la cantidad de vidrio que se necesitará, y colocarlo sobre el molde de manera que, cuando se funda, vaya a parar a él y no caiga fuera de él.

Este tipo de casting es el que al comienzo de este capítulo se ha denominado *fuse casting*.

- Trozos medianos (entre 5 y 10 mm en cualquiera de sus dimensiones). Al fundirse producen un gran número de burbujas, que no impide la transparencia. El resultado es bueno, y es un material fácilmente accesible (se puede conseguir a partir de hojas de vidrio, casco, etc.)



Obra realizada con trozos de tamaño medio. Hay burbujas que no opacifican la obra. También pueden verse capas de veladuras interiores producidas por desvitrificaciones internas.

- Trozos pequeños de vidrio o fritas gruesas (entre 2 y 5 mm de grosor). El resultado es una textura bastante llena de burbujas, que comienza a parecerse a la pasta de vidrio en cuanto a su translucidez. Equivale al tipo de casting llamado *frit casting* al comienzo de este capítulo.
- Mezclas de trozos grandes y polvo de vidrio. Las zonas donde hay trozos de vidrio grandes se ven transparentes después de fundirse, y aparecen rodeadas de zonas traslúcidas producidas por el vidrio en polvo.

Utilización de láminas de vidrio para llenar moldes.

Pueden utilizarse de varias maneras, con distintos resultados:

- Hojas de vidrio trituradas en diferentes tamaños. Para triturar las hojas de vidrio hay que envolverlas en varias hojas de papel de periódico o de papel fuerte, y después golpear con una maza de madera. Deben usarse gafas protectoras, para evitar que los trozos de vidrio que salgan despedidos entren en los ojos. Si se quiere moler el vidrio muy fino, es preciso usar mascarilla para evitar respirar polvo de vidrio.
El vidrio así machacado se vierte en un cubo con agua, para retirar el polvo y los trozos de papel. Es necesario cambiar el agua varias veces hasta que se ve que está totalmente limpia. Entonces el vidrio se escurre y se pone a secar varias horas sobre una superficie limpia y absorbente.
A continuación hay que “clasificar” los trozos de vidrio, separando aquéllos pedazos más grandes de los más pequeños y el polvo de vidrio; se puede guardar en diferentes envases donde no cojan polvo.

Otra forma de triturar hojas de vidrio es calentarlas en el horno hasta 650°C y después meterlas en un cubo metálico con agua para producir un choque térmico²¹⁶.

Con este vidrio de diferentes granulometrías se llenarán los moldes según se desee mayor o menor transparencia.



Molde abierto lleno con fragmentos gruesos de hojas de vidrio float.

- Hojas de vidrio enteras colocadas dentro del molde. Hay que procurar cortarlas de la forma más aproximada al tamaño del molde, y colocarlas en su interior cuidadosamente, de manera que las más pequeñas llenen los espacios más profundos, y las más largas los más superficiales.



Molde abierto lleno con hojas gruesas de vidrio float, colocadas de manera que se adapten lo más posible a las formas del molde.

²¹⁶ Ver este mismo procedimiento según se describe en el epígrafe sobre tipos de vidrios, casco de envases, p. 442.

Este modo de llenar moldes produce obras con muy pocas burbujas, pero se perciben algunos velos blanquecinos en los contornos de las hojas; en el caso del vidrio float, la desvitrificación interna hace que queden zonas internas neblinosas que pueden resultar interesantes.

- Hojas de vidrio profundidas colocadas dentro del molde. Equivaldría a la técnica de *slump casting* que se mencionó al comienzo de este capítulo. Consiste en fundir varias hojas de vidrio de manera que tengan la forma y tamaño aproximado del molde en el que se quieren fundir. Esta primera fusión se realiza con las técnicas de fusión que se han descrito en los capítulos anteriores (fusión total o fusión en relieve, según la forma que se precise). Una vez fundido este bloque, se coloca sobre el molde, de manera que cuando se lleve a la temperatura de fusión para casting, adoptará la forma.

Las ventajas de esta forma de trabajar son dos: por una parte, se evita la formación de burbujas intermedias que pueden producirse al colocar láminas unas sobre otras en el molde; por otra, se previenen las desvitrificaciones internas, ya que el proceso de fusión previa puede hacerse de un modo más rápido en el intervalo de temperaturas 650°-850°C y puede utilizarse el horno de fusión, menos proclive a las desvitrificaciones.

Hay que tener precaución con el antidesvitrificador que se ponga en la primera fusión; al cocer el bloque por segunda vez, el bórax (u otro producto utilizado) no debe tocar el molde porque actuará como fundente provocando burbujeo y que se quede pegada una película del molde en el vidrio.

- Hojas de vidrio de varios colores colocadas en un bebedero. Pertenece al tipo de casting que al comienzo de este capítulo se llamó *drip casting*. Para realizar esta técnica, se precisa utilizar un bebedero que se coloque encima del molde. Este recipiente debe tener un agujero en su base, que permita que el vidrio fundido se cuele dentro del molde. Puede ser de gres, de manta cerámica o de escayola refractaria. En el bebedero se ponen hojas de vidrio; el calor del horno las fundirá e irán cayendo dentro del molde. Con esta técnica se consiguen efectos jaspeados cuando las hojas de vidrio son de distintos colores y se colocan alternadas dentro del bebedero. Al fundirse, caen en el molde sin llegar a mezclarse del todo.

El vidrio en pasta de vidrio

Pruebas de colores. La preparación de las muestras de colores previas a la realización de las esculturas es de gran importancia, pues es preciso establecer compatibilidades entre las mezclas de distintos colores, gradaciones de color al mezclar con vidrio transparente molido, y temperaturas más adecuadas para la fusión.

Para preparar las muestras, es preciso disponer de vidrio molido. Si se ha comprado el vidrio en barras de color, será preciso triturarlo en un molino de bolas, o con la ayuda de un mortero de porcelana. En cualquiera de estos dos casos debe partirse previamente la barra en trozos golpeándola con una maza de hierro o de madera, entre periódicos.

Cuando los vidrios ya están molidos, se tamizan para clasificar los distintos groesos, del más fino (el resultado será más opaco) al más grueso (más transparente).

Los colores deben ser muy finos para que se combinen bien. La mezcla de colores no se produce como en pintura, porque en la técnica de pasta de vidrio, los colores en realidad no se mezclan entre sí al fundirse, sino que se trata de una mezcla óptica. Al fundirse en el horno, los granos de distintos colores permanecen en su sitio, unos junto a otros, y si son suficientemente pequeños, no se nota. Para que la mezcla sea homogénea, el grosor máximo de vidrio transparente debe ser de 350 micras, y de vidrio de color de 150 micras, más fino.

Sinichi y Kimiake Higuchi proponen realizar una serie de muestras de colores, mezclándolos con vidrio transparente y entre sí, según la siguiente tabla de proporciones (para muestras de 30 g de vidrio cada una):

Nombre de la mezcla	Porcentaje de color	Proporción	Proporción en gramos	Peso total mezcla
A	50%	1:2	15:15	30 g
B	20%	1:5	6:24	30 g
C	10%	1:10	3:27	30 g
D	5%	1:20	1,5:28,5	30 g
E	3,3%	1:30	1:29	30 g
H ²¹⁷	1,6%	1:60	0,5:29,5	30 g

Las mezclas de distintos colores deben comprobarse antes de utilizarse, porque pueden reaccionar químicamente y dar un color negruzco. Conseguir una buena paleta es fundamental para disponer de una amplia gama de colores. Una vez conseguidas las muestras (numeradas, clasificadas, etc., para saber exactamente sus proporciones) puede servir en cualquier obra que se realice con los mismos tipos de vidrio, como punto de referencia.

Las mezclas con vidrio en polvo deben realizarse con mascarilla. Para pesar las cantidades de vidrio necesarias de las muestras se utiliza una báscula de precisión o un granatario. Un procedimiento que evita desperdiciar material es poner sobre la báscula una hoja de papel que tenga escrita la letra que identifica a cada mezcla; sobre ella, en montones independientes, se colocan

²¹⁷ Se pone H en vez de F porque la proporción varía en distinta medida que entre las otras letras; la razón es que la proporción que correspondería no presenta apenas variación de color.

los dos colores de vidrio, sin mezclarlos. De este modo, si se ha puesto más cantidad de la necesaria, pueden volverse a guardar porque aún están limpios.

Para que la mezcla de los dos colores esté bien hecha y sea homogénea, hay que utilizar un tamiz, y pasar la mezcla a través del tamiz varias veces.

Los colores mezclados se ponen en un molde apropiado, procurando hacer montoncitos más altos en el centro que en los lados para evitar que el vidrio, que se adherirá temporalmente a los laterales del molde, quede con una forma irregular o cortante en los bordes. El nombre del color se marca con un punzón en el molde.



Preparación de un molde para pruebas de color de pasta de vidrio. Se ha utilizado como modelo una cubitera.



Los diferentes tonos de pasta de vidrio se han preparado dentro del molde; la forma que se da al polvo es importante, porque si se rasa la forma que adopta durante la cocción es desigual (el vidrio se pega a los bordes, pero su volumen disminuye mucho en el centro, por lo que quedan agujas laterales).

Al hacer las pruebas de color no sólo se puede verificar la calidad de los tonos conseguidos, sino también la temperatura más adecuada para cocer ese vidrio concreto.

Aplicación de los colores al molde.

Poner color en una obra de pasta de vidrio es como pintar utilizando los colores de la paleta conseguida. Los distintos tonos se ponen de acuerdo a los bocetos previos realizados.

En la mayoría de las piezas de pasta de vidrio, el color sólo se pone en la superficie de la obra. Las zonas internas suelen llenarse con vidrio transparente, para procurar que la obra sea más traslúcida.

Cuando se trata de amplias superficies horizontales, basta con depositar el color sobre el molde utilizando una cucharilla. Sin embargo, cuando hay rincones de difícil acceso y entrantes (también horizontales) debe utilizarse un pincel y agua para que quede menos aire y penetre bien el vidrio. Se debe tratar de prensar lo más posible el polvo de vidrio, para evitar que se formen burbujas de aire que no tengan salida.



Preparación de una obra de pasta de vidrio en la que se han “pintado” los lados del molde con polvo de vidrio de color mezclado con cola muy diluida con agua.

En piezas grandes o con paredes verticales es necesario fijar el polvo de vidrio de color utilizando una cola especial para fundición, que no deje rastros al quemarse. Esta cola debe ir muy disuelta en agua, porque una concentración excesiva de cola produce rastros blanquecinos, empobreciendo el color. La proporción de cola debe aumentar en la medida en que el objeto sea más alto y con paredes más verticales.

Efectos conseguidos con diferentes granulometrías en pasta de vidrio. Ya se ha venido indicando que cuanto más gruesa es la granilla de vidrio utilizada, más transparencia se consigue porque queda menos aire ocluido. En pasta de vidrio, cuando quiere lograrse un efecto homogéneo se utiliza vidrio en polvo fino, de la misma granulometría; pero pueden lograrse efectos de texturas mezclando distintas granulometrías y distintos colores, al combinar transparencia-opacidad.

Soportes y contenedores para el vidrio en casting y pasta de vidrio.

Una de las dificultades mayores al llenar los moldes en casting y pasta de vidrio consiste en mantener sobre el molde la cantidad de vidrio necesario para llenarlo, porque el vidrio triturado, en frío, ocupa mucho más espacio que fundido. Existen varios métodos para sujetar el vidrio:

- Hacer bebederos de escayola refractaria que se acoplen al molde (este método ya se mencionó cuando se explicaron los moldes para pasta de vidrio).
- Hacer bebederos de gres chamotada, cocidos a 900°C para que sean resistentes. Deben tener una forma que favorezca que el vidrio fluya hacia abajo y, lógicamente, un orificio a través del cual el vidrio se cuele en el molde. Este orificio debe ser mayor de 1,5 cm de diámetro, lo suficientemente grande para permitir que el vidrio, fluido pero viscoso, lo atraviese. Los bebederos se deben colocar de manera que el agujero esté directamente sobre la oquedad del molde. Estos bebederos pueden recubrirse de separador, y de este modo el vidrio no queda pegado a ellos y son reutilizables.



- Hacer bebederos de manta cerámica, de características similares a los de gres chamotada en cuanto a su forma y al orificio de salida del vidrio. Como todos los moldes de manta cerámica, deben cocerse a 650°C antes de su utilización, y deben recubrirse con separador.

- Utilizar barreras de fibra cerámica rígida para sujetar el vidrio sobre el molde. Debe procurarse situar estas barreras lo más cerca posible del hueco del molde, para evitar que el vidrio se funda sobre los límites del molde y quede ahí pegado en vez de caer en su sitio.



- Utilizar anillos de gres chamotada para sujetar el vidrio en su lugar sobre el molde. Como en el caso anterior, hay que evitar que los bordes del anillo queden muy separados de los del negativo, para que no se desperdicie material fundido sobre el molde.



III.3.9. Horneado de las piezas. Curvas de temperatura en casting y pasta de vidrio.

En el trabajo con casting, antes de comenzar cualquier horneado es preciso que el molde esté totalmente libre de humedad. Si tiene agua, puede influir negativamente en el vidrio dándole un aspecto velado.



Varios moldes se han horneado durante 8 horas, primero a 100°C (cuatro horas), y luego en subida lenta hasta 200°C (durante dos horas), para estacionarse a esta temperatura (otras dos horas). Una vez terminado el secado, hay que dejar que se enfríen dentro del horno a su propio ritmo para evitar roturas por choque térmico.

Las curvas de temperatura, tanto en casting como en pasta de vidrio, cambian en función del grosor y tamaño de las piezas. Cuanto más gruesa sea una pieza, mayor tiempo necesitará para lograr una fusión homogénea, y para recocerse y enfriarse. También el tipo de vidrio utilizado influirá en las decisiones tomadas respecto a la temperatura máxima alcanzada, y al punto de recocido.

En las curvas que presento a continuación, he preferido adoptar una temperatura máxima estándar establecida en 850°C, y otra de recocido entre los 525°C y los 485°C, según la fuente, pero en realidad, esa temperatura varía mucho en función del vidrio escogido. El sodocálcico (como el de envases, el de ventana) suele llevarse hasta los 900°C, mientras que el plúmbico suele

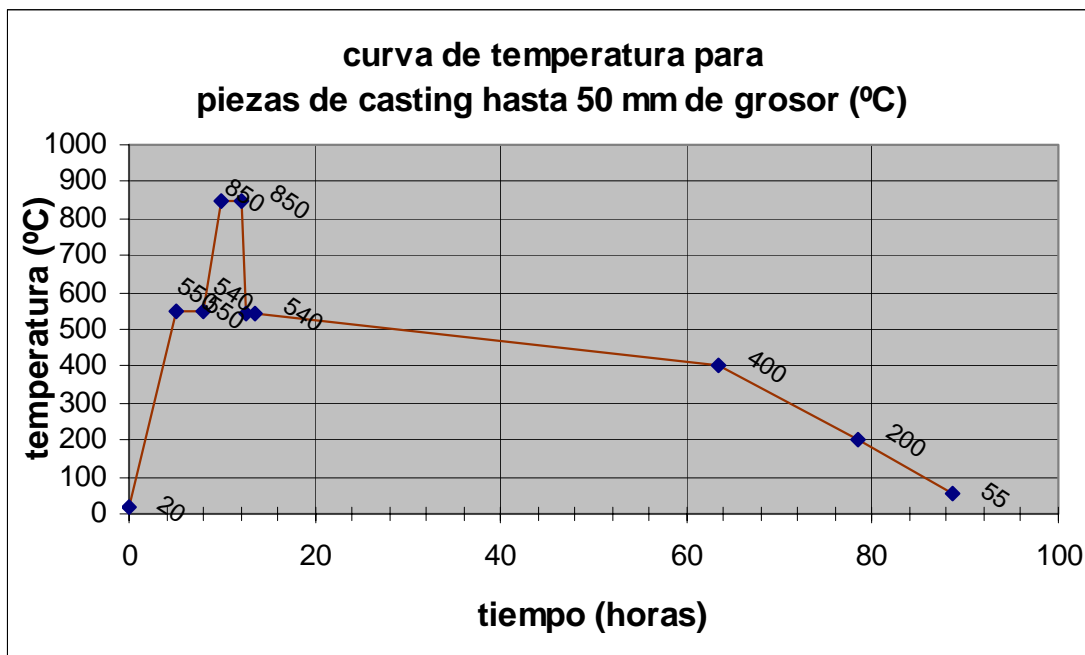
requerir hasta 100°C menos para fundirse. Por su parte, el vidrio de borosilicato requiere incluso 1000° para poder fundirse.

Las temperaturas de recocido suelen variar también mucho, y es necesario hacer tests previos para establecerlas, o consultar las tablas que casi todos los fabricantes de vidrio suelen proporcionar.

Casting

Una de las cosas más complejas y costosas de la técnica de casting es el horneado. Se requieren curvas de recocido larguísimas para que las piezas puedan salir del horno sin roturas, o que no tengan tensiones que las rompan al poco tiempo. Cuanto más gruesos sean los trozos de vidrio utilizados, mayor tiempo se requiere para fundirlos y recocerlos. Las curvas tipo que pueden encontrarse para los distintos grosores de vidrio, deben modificarse en función del vidrio utilizado.

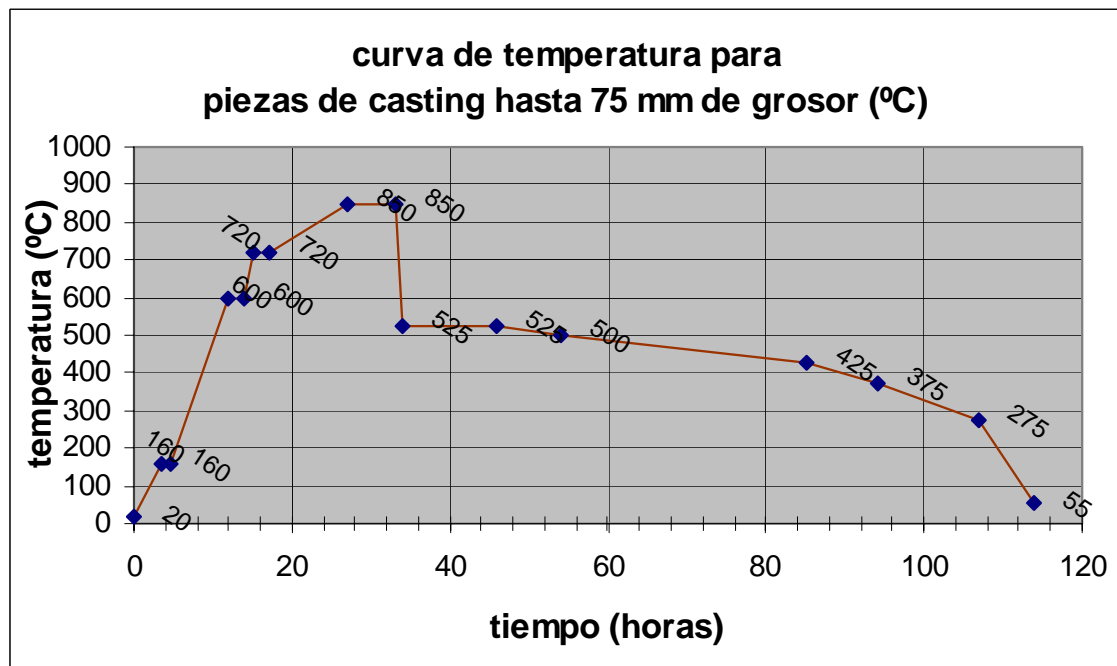
Así, una pieza cuyo grosor sea de hasta 50 mm necesita una curva tan larga como la que sigue (más de tres días)²¹⁸:



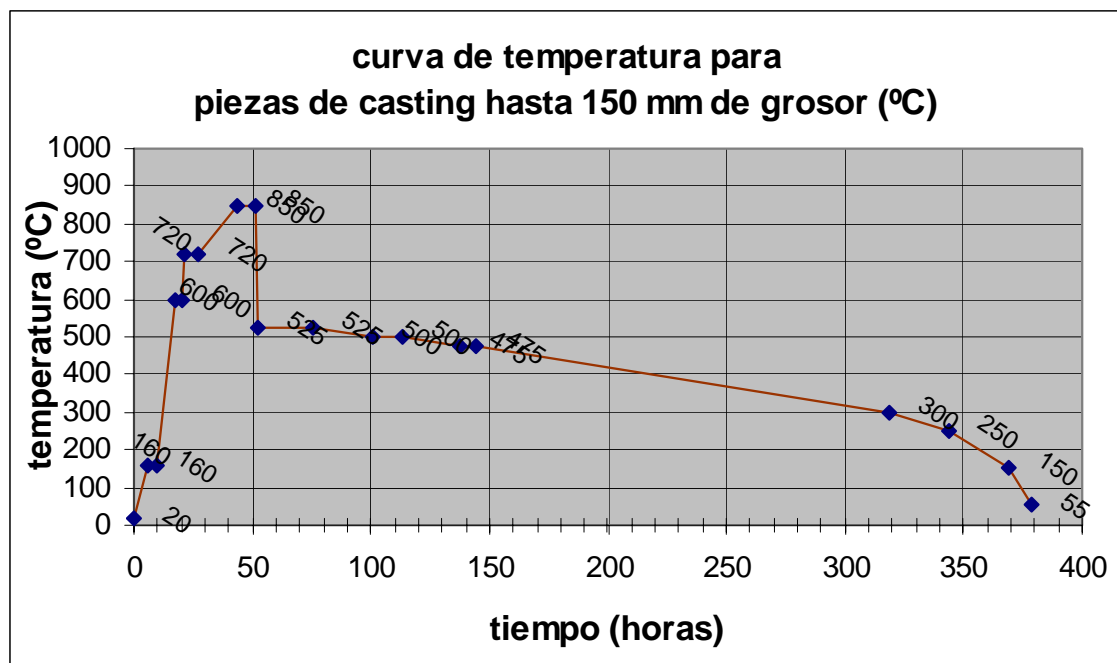
Cuando la pieza aumenta su grosor hasta 75 mm también se incrementa el tiempo necesario para cocerla, como muestra la curva que sigue²¹⁹ (más de 5 días):

²¹⁸ Curva propuesta por Milan Handl y Stanislava Grebenickova, *Curso de Casting*, Fundación CNV, noviembre 2001. STONE, G. (2000), pag. 97, propone una curva para el mismo grosor, con una duración total similar, pero bastante diferente en cuanto al tiempo de calentamiento (mucho menor en la curva propuesta por los primeros), y en el tiempo necesario entre el punto de recocido superior e inferior (el doble en la curva de aquéllos).

²¹⁹ STONE, G. (2000), pag. 98.



El tiempo necesario aumenta aún más para piezas hasta 150 mm de grosor²²⁰:



²²⁰ STONE, G. (2000), pag. 98

Esta curva requiere hasta 15 días para cocer una pieza de 15 cm de grosor; la inversión económica en el horneado de la pieza es muy elevada. El vidrio grueso conserva el calor mucho tiempo; la lentitud de enfriamiento responde a la necesidad de equilibrar la temperatura interna y externa de la obra de vidrio, para evitar que se produzcan choques térmicos. Pueden hacerse horneadas más cortas, pero con grandes riesgos de encontrar la pieza rota al abrir el molde.

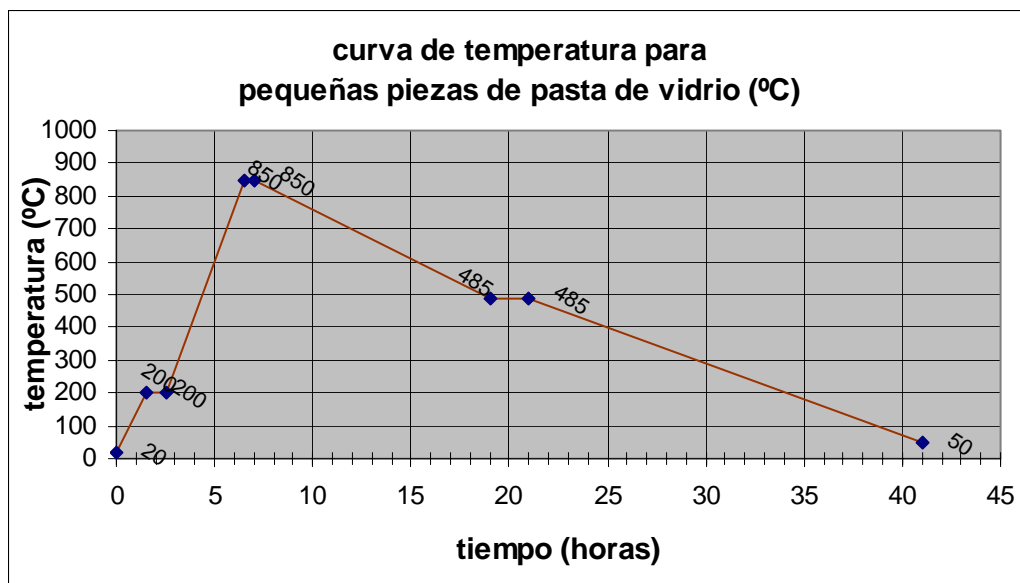
Pasta de vidrio.

Los Higuchi proponen mantener el horno ventilado y subir despacio hasta 200°C para secar el molde y eliminar cualquier resto de agua sin roturas, calentándolo uniformemente. Una forma de averiguar si ha estado bastante tiempo a esa temperatura, es poner un vidrio frío junto a la ventilación del horno, comprobando si aún sale vapor de agua.

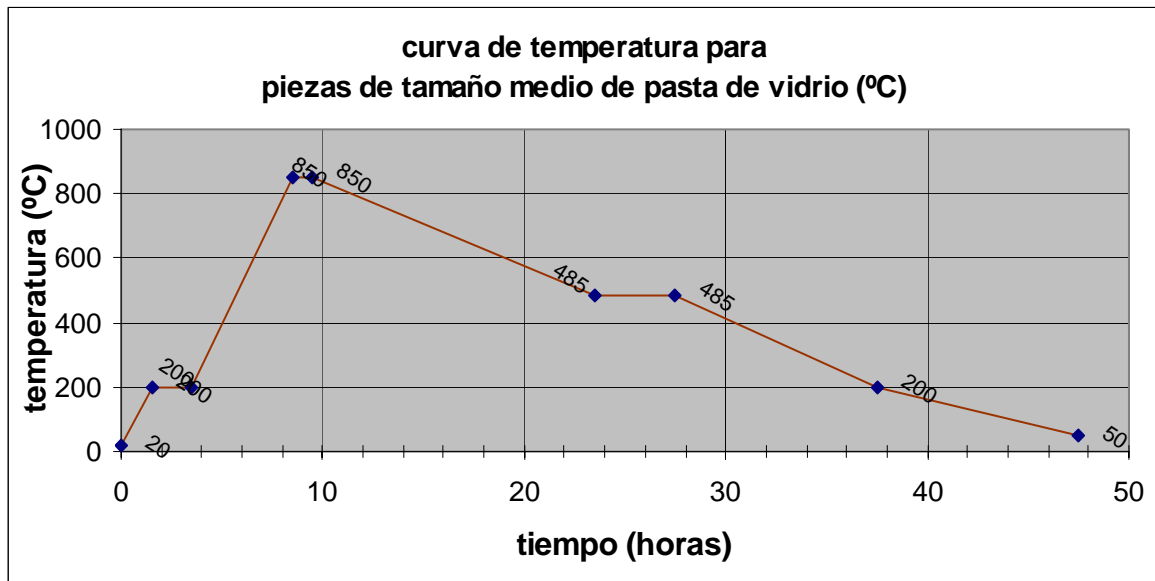
El tiempo que se emplee en subir hasta la temperatura máxima dependerá de varios factores, como el grosor y la forma de la pieza. Por ejemplo, si la pieza es alta, y si tiene que pasar el vidrio desde un bebedero, se necesita más tiempo para que el vidrio caliente “se cuele” que cuando se utiliza un molde abierto, llenado horizontalmente.

La temperatura máxima que hay que alcanzar cuando se trabaja con pasta de vidrio es algo menor que la necesaria para casting, ya que cuanto más pequeños son los fragmentos de vidrio, antes se funden. Esta temperatura oscila entre los 810° y los 850°C, según el tipo de vidrio.

Para calcular el tiempo que el vidrio debe permanecer a la temperatura máxima, es necesario tener en cuenta factores como el tipo de molde, ya que se precisa más tiempo cuando hay moldes de dos piezas, con un contramolde que deba presionar el vidrio para darle forma. Debido a la viscosidad del vidrio, se necesita más tiempo para que este contramolde ajuste en su sitio.



La curva anterior²²¹ es válida para piezas de hasta 2 cm de grosor, y de hasta 10 cm de longitud. Al terminar la meseta de recocido a 485 puede apagarse el horno, y dejar que se enfríe lentamente por inercia.



Esta curva²²² puede utilizarse para piezas de hasta 5 cm de grosor y hasta 30 cm de longitud. Cuando las piezas son mayores, hay que incrementar el tiempo de secado de moldes (la primera meseta a 200°, debe ser más larga), y el tiempo que se emplea en subir hasta los 850°; si la pieza es grande, el estacionamiento en 850° también debe aumentar.

El descenso hasta la zona de recocido (485° C) tiene una velocidad entre 30° C por hora en la primera curva, y 26° C por hora en la segunda; debe disminuirse hasta 14° C por hora para piezas más gruesas (8-10 cm de grosor).

Hay algo que llama la atención en esta curva, y es el enorme tiempo dedicado a bajar desde 850°C hasta la temperatura de recocido; mientras la mayoría de los artistas y expertos en vidrio recomiendan hacer un descenso lo más rápido posible para evitar desvitrificaciones, en este caso se recomienda lo contrario. Podría pensarse que la desvitrificación no afecta a la pasta de vidrio, ya de por sí opaca, pero en realidad sí puede alterar la riqueza de los colores, volviéndolos blanquecinos.

Cocción con la técnica de fundición a la cera perdida

Esta cocción es un poco diferente, pues es importante eliminar la cera. El desencerado puede hacerse in situ, por evaporación (es decir, sin tener que hacer un desencerado previo), sin alterar las cualidades del vidrio.

²²¹ Curva de recocido propuesta por los Higuchi, en el *Curso de pasta de vidrio* de septiembre de 1995 en el CNV de La Granja.

²²² Curva de recocido propuesta por los Higuchi, en el *Curso de pasta de vidrio* de septiembre de 1995 en el CNV de La Granja.

La curva que propone MIRABECK (1992) es la siguiente²²³:

- Ascenso rápido de la temperatura hasta 700°C. Hay que mantener abierta la ventilación del horno para permitir que salgan los gases producidos por el desencerado.
- A 700° C, se hace una meseta de 11 a 12 horas en la que la cera se consume totalmente.
- Se cierra la ventilación para hacer después un ascenso rápido hasta 1050°C. A esta temperatura, se hace una meseta que debe durar unas 9 horas. En este momento, el vidrio fluido se cuela en el molde. Durante el proceso, hay que verificar que el vidrio haya llenado el cono de colada.
- Bajada pasiva de la temperatura hasta la meseta de recocido (400° a 450°C según los vidrios).
- A temperatura ambiente se puede deshornar.

Algunas observaciones respecto a las curvas de temperatura con casting y pasta de vidrio.

Las temperaturas necesarias para fundir el vidrio en casting son bastante más elevadas que las que se emplean en técnicas de fusión (incluida la fusión total) Esto se debe a que se requiere que el vidrio alcance un estado mucho más líquido que el preciso para fundir hojas de vidrio planas una sobre otras; en casting, el vidrio debe alcanzar un estado de fluidez que permita que cada fragmento de vidrio quede totalmente líquido y fundido con los que están próximos.

La temperatura puede ser un factor interesante para experimentar distintos grados de fusión de los trozos de vidrio entre sí; pueden lograrse texturas en las que el vidrio esté totalmente fundido, o sólo pegado entre sí, copiando parcialmente la forma del molde y manteniendo su aspecto roto y fragmentado.

Casi todos los artistas que trabajan con casting y pasta de vidrio dan un poco de tiempo de más a sus obras para asegurarse de que no habrá ningún problema. Yo he ensayado curvas ligeramente más cortas sin encontrar problemas de roturas o tensiones, aunque es preciso indicar que las limitaciones de mi horno no me han permitido hacer piezas grandes.

Cuando se utiliza vidrio de borosilicato pueden hacerse curvas algo más cortas en el descenso final de la temperatura (después del recocido), ya que este vidrio es muy resistente a los choques térmicos.

²²³ Hay que señalar que MIRABECK no alude al hecho de que la curva de recocido variará en función del tamaño y grosor de la obra o las obras que se deban fundir. Sin embargo, las curvas deben adaptarse a cada hornada concreta, pues pueden variar las características físicas del vidrio, tamaños de las obras, etc.

III.3.10. Acabado en frío de las piezas²²⁴.

Cuando las piezas de vidrio están a temperatura ambiente y totalmente frías, pueden deshornarse. Los moldes de escayola suelen romperse con facilidad y se separan del vidrio dejando muy pocas marcas en éste.



Durante el desmoldeado de una pieza, es necesario utilizar una piedra de carborundo para eliminar las rebabas de vidrio del borde superior de la obra, que son muy cortantes. Los restos de escayola se guardan para reciclarlos como carga en nuevos moldes refractarios.

Generalmente, basta con lavar los vidrios y frotarlos con un estropajo suave para eliminar el polvo de escayola pegado.

Para eliminar restos de arcilla pegada al vidrio es necesario utilizar una herramienta eléctrica (una minitaladradora), que tenga una pequeña fresa de diamante.

Muchas veces quedan rebabas en las piezas que hay que quitar con ayuda de una sierra para vidrio o de un torno; también suele utilizarse una platina para perfeccionar planos, etc.



Para hacer un plano en una pieza de casting o pasta de vidrio se utiliza una platinadora que pule alguna de las caras; para conseguir transparencia es preciso utilizar un grano de carborundum fino (400 o 600), y después frotar con corcho y piedra pómez, siempre en húmedo.

²²⁴ Las técnicas de acabado en frío se describen en el capítulo *Técnicas de trabajo en frío*.

En la técnica de casting, en ocasiones las piezas salen del horno recubiertas por una película de vidrio brillante pero poco transparente, que les da un aspecto de material plástico o de caramelo. Puede ser necesario un proceso de lijado manual (con lijas de diamante de distinto grano) o con máquina para que recuperen su aspecto de vidrio.

Una técnica de tratamiento en frío muy utilizada en casting y pasta de vidrio es el mateado, ya sea al ácido o al chorro de arena.

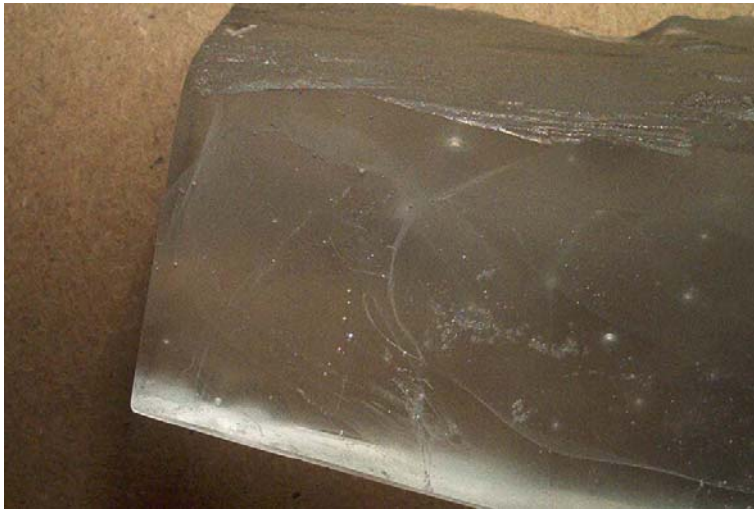
III.3.11. Desvitrificaciones

La técnica de casting puede verse perjudicada si se producen desvitrificaciones en los vidrios que se espera sean transparentes. En ocasiones se producen desvitrificaciones internas, y cada trozo aparece rodeado de un fino velo blanquecino, que crea unos efectos visuales complejos (zonas traslúcidas que crean sombras sobre zonas transparentes, y que muestran sólo parcialmente lo que hay detrás). Aunque los resultados de una desvitrificación sean muy buenos para una obra concreta, es difícil controlar a voluntad ese proceso.

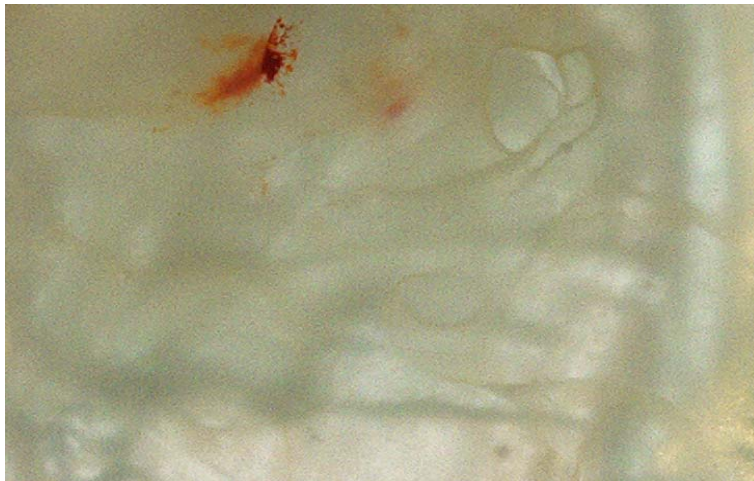
A modo de ejemplo, explicaré el caso de dos problemas de desvitrificación que se han producido en obras mías. En los dos casos, la desvitrificación alcanzó a todas las piezas que componían la hornada. Me pregunté si se debía a:

- Tipo de vidrio
- Suciedad en el vidrio
- Tipo de horno
- Material refractario del molde
- Humedad en el molde
- Curva de recocido utilizada

Las desvitrificaciones que analizo se produjeron en dos hornadas distintas, en distintos hornos (pero los dos del mismo tipo: cerámicos), con diferente tipo de material refractario en el molde, con distintos tipos de vidrio, con moldes totalmente secos y con moldes ligeramente húmedos; podría pensar que entonces se debe a la curva de recocido utilizada (la misma en todos los casos), pero esa curva no ha causado desvitrificaciones en otras hornadas, y en esos hornos se han cocido en otras hornadas piezas que no se desvitrificaron.



Pieza de casting fundida con vidrio sodocálcico de fundición de La Granja, en un horno cerámico de la Escuela de Vidrio de la Fundación CNV. El molde era de escayola normal con sílice. El molde estaba recién hecho, y podía conservar algo de humedad.



Pieza fundida con vidrio de ventana en mi horno cerámico. El molde era de escayola refractaria para hornos. El molde llevaba hecho varios meses y estaba totalmente seco.

Ninguno de estos factores se ha demostrado por sí solo causante de desvitrificación; quizá sea necesaria la suma de varios de ellos para que este fenómeno se produzca. Creo que los moldes refractarios guardan mucho el calor, ya que forman una masa térmica con gran inercia; por esa razón, cuando se abre la puerta del horno para bajar la temperatura, aunque el pirómetro marque un descenso adecuado y rápido entre la temperatura máxima y la de recocido, en realidad el vidrio está más caliente durante más tiempo, lo que causa la desvitrificación.

CONCLUSIONES

Demostración de las hipótesis planteadas en la introducción.

Quizá la conclusión primera y más clara es que la investigación y la experimentación (conceptual, formal y material) deben continuar a lo largo de toda la vida artística, y más cuando se trata de una materia como el vidrio.

La hipótesis de partida que se planteaba en la introducción de esta investigación era que el vidrio es un material escultórico de primer orden. Esto ha quedado suficientemente demostrado en la revisión histórica de este material. Así, durante los primeros siglos de su existencia, el vidrio ha sido muy apreciado por sus cualidades como materia; egipcios, asirios o micénicos lo valoraban tanto como una piedra preciosa, y los objetos realizados con él eran considerados de lujo. Desde el descubrimiento del vidrio soplado, hacia el siglo I a.C., el valor artístico de los objetos creados con vidrio ha recaído no tanto en sus cualidades materiales (que han continuado, no obstante, siendo de gran importancia), como en las cualidades formales de los objetos creados con él. En esta exposición histórica también se mostró cómo los objetos de vidrio han seguido una evolución formal paralela a la que se ha desarrollado en otros ámbitos artísticos.

En la historia del arte occidental que conocemos, el vidrio no siempre ha sido reconocido un material artístico, sino artesanal. Sin embargo, la división que tradicionalmente se establecía en la cultura occidental entre artes mayores y artes menores (también llamadas decorativas o aplicadas) está siendo cada vez más discutida en nuestra época. Las corrientes de pensamiento posmodernas ponen en tela de juicio esta división, pues muestran que es fruto de los llamados “grandes relatos”¹ que han configurado una versión de la historia (la de los grupos dominantes), dejando fuera otros “pequeños relatos”; de este modo, la división entre artes mayores y menores, es también la división entre arte hecho por y para los grupos dominantes, y arte (artesanía) hecha por y para otros grupos no siempre tan poderosos. De este modo, actualmente no se establece el valor de una obra de arte en función de cuáles sean las técnicas, las materiales o los procedimientos utilizados para realizarla, sino que son otros los parámetros que cuentan: su contenido, su intencionalidad, su capacidad comunicativa, o el alcance respecto al público. Por tanto, el vidrio tiene tantas posibilidades artísticas como cualquier otro material.

¹ LYOTARD, F. (1984)

El capítulo que se ocupó de mostrar una panorámica de la escultura en vidrio actual también ha planteado la existencia de un auge en el empleo del vidrio en el arte. El vidrio puede ser un material escultórico cuando es usado por un artista como material único, pero también cuando se utiliza como un material más al servicio del escultor.

A lo largo de la parte experimental de esta tesis he demostrado la hipótesis de investigación, es decir, que sí pueden hacerse esculturas en vidrio con pocos más recursos de los necesarios para trabajar cerámica y que pueden aprovecharse muchos recursos materiales al alcance de cualquiera.

El vidrio ya no es un material difícil de trabajar. La tradición gremial vidriera vigente en España hasta hace no mucho (la mayoría de los maestros vidrieros que tienen más de 50 años de edad proceden de este ámbito) señalaba una formación como aprendiz de al menos 10 años antes de llegar a ser “oficial”, es decir, antes de poder soplar vidrio. Este período de tiempo es demasiado largo para el escultor que quiere hacer su obra con vidrio. Actualmente la formación se ha acortado a sólo tres años, como en la Escuela del Vidrio de la Fundación Centro Nacional del Vidrio de San Ildefonso, pero también se ha demostrado que es posible adquirir una formación básica en cursos monográficos intensivos de corta duración². Salvando las distancias entre la técnica de soplado y las descritas en esta tesis, en mi investigación he mostrado que unos pocos conocimientos técnicos sobre las características físico químicas del vidrio, y ciertas nociones básicas sobre las técnicas de fusión y pasta de vidrio, permiten comenzar a trabajar y a experimentar el trabajo con este material.

Los dos hornos que he utilizado en esta tesis son muy sencillos. En el capítulo III.1. *Utilización del horno* (ver p. 148 y sigtes.), se describen ambos tipos; si tienen algo especial es un programador electrónico que permite conseguir curvas de temperatura complejas. Este aparato, que hace algunos años era muy caro, se ha abaratado tanto que hoy lo ofrecen “de serie” la mayoría de los fabricantes de hornos cerámicos. El horno de fusión, especial para vidrio, no es más caro que un horno cerámico de las mismas dimensiones. Y ambos tipos de horno permiten trabajar con vidrio usando diferentes técnicas: fusión en relieve, fusión total, termoformado, pasta de vidrio, casting...

Los vidrios que pueden utilizarse para la escultura pueden ser tan sencillos como el casco de envases. En el capítulo III.2.2. *Distintos tipos de vidrio para las técnicas de fusión* (ver p. 229) se explicó un procedimiento para convertir el casco coloreado procedente de botellas en vidrios planos que posteriormente se pueden fundir entre sí; en el capítulo III.3. *Técnicas de moldeado de vidrio: casting y pasta de vidrio* (ver p.440) se mostró la forma de convertir el casco de envases en fritas y polvo de vidrio que se podrían utilizar para llenar moldes refractarios.

Otro vidrio barato y accesible es el llamado “vidrio pobre” o de ventana, obtenido generalmente por el procedimiento industrial de flotado, como se

² VV.AA. (1997): *Manual de recomendaciones prácticas en la fabricación de vidrio artesanal*, pag. 65.

expone en el capítulo III.2.2. *Distintos tipos de vidrio para las técnicas de fusión* (ver p.217). En casi todos los capítulos de la parte experimental dedicada a la fusión he utilizado el vidrio float de una u otra manera; en fusión total y en fusión en relieve, con inclusiones de todo tipo, en termoformados, y con él he conseguido distintas texturas y acabados. Creo haber demostrado que este vidrio tan fácil de obtener es uno de los materiales más versátiles para trabajar con estas técnicas.

Algunos de los vidrios fabricados específicamente con fines artísticos, de más calidad pero más difíciles de adquirir, también se han experimentado a lo largo de esta tesis.

He investigado en esta tesis ciertas condiciones que el vidrio debe reunir para poder crear una obra artística con él; así, distintos procedimientos para agregar color al vidrio se han mostrado en los capítulos III.2.2. *Distintos tipos de vidrio para las técnicas de fusión* (ver p. 211 y sigtes.) y III.2.3. *Búsqueda de una paleta de colores* (ver p. 239 y sigtes.). Los modos de conseguir volumen en el vidrio se han investigado desde distintos puntos de vista; en primer lugar, el volumen externo, más evidente, logrado mediante técnicas de fusión total o en relieve, como se mostró en los capítulos III.2.1. *Técnicas de fusión en relieve y fusión total* (ver p.177) y III.2.5. *Creación de volumen mediante las técnicas de fusión* (ver p. 354); en segundo lugar, el volumen interno, es decir, el creado mediante la inclusión de elementos dentro en la masa de vidrio transparente, o mediante efectos ópticos (capítulo III.2.4. *Volumen interno en el vidrio* (ver p. 290 y sgtes.).

Del trabajo en volumen mediante las técnicas de casting y pasta de vidrio sólo se muestran los resultados de una investigación en ciernes (ver capítulo III.3. *Técnicas de moldeado de vidrio: casting y pasta de vidrio* (ver p.418 y sigtes.); su desarrollo completo supondría muchos años de estudio, puesto que estas técnicas permiten muy diversas aplicaciones y variaciones. Creo que una investigación tan extensa sería motivo, por sí sola, de una tesis aparte. Lo que pretendía mostrar con mi investigación, es decir, la posibilidad de hacer escultura en vidrio con materiales accesibles, sí se ha experimentado con éxito en esas dos técnicas.

El vidrio como material escultórico: mis esculturas y proyectos artísticos.

Como conclusiones del trabajo con vidrio, mencionaré a continuación ciertos aspectos formales de esta materia que son importantes para mi obra escultórica. Muchas de las técnicas de trabajo con vidrio mencionadas en esta tesis tienen un porqué formal.

En mi obra escultórica no suelo utilizar el vidrio como material único; generalmente asocio elementos creados con vidrio a elementos creados con otros materiales. Ya expliqué en la introducción de esta tesis que el vidrio como materia supone contradicciones; a nivel formal, esas contradicciones intento potenciarlas cuando introduzco en la obra otras materias, quizá menos ambiguas que el vidrio, como madera, plomo o hierro.

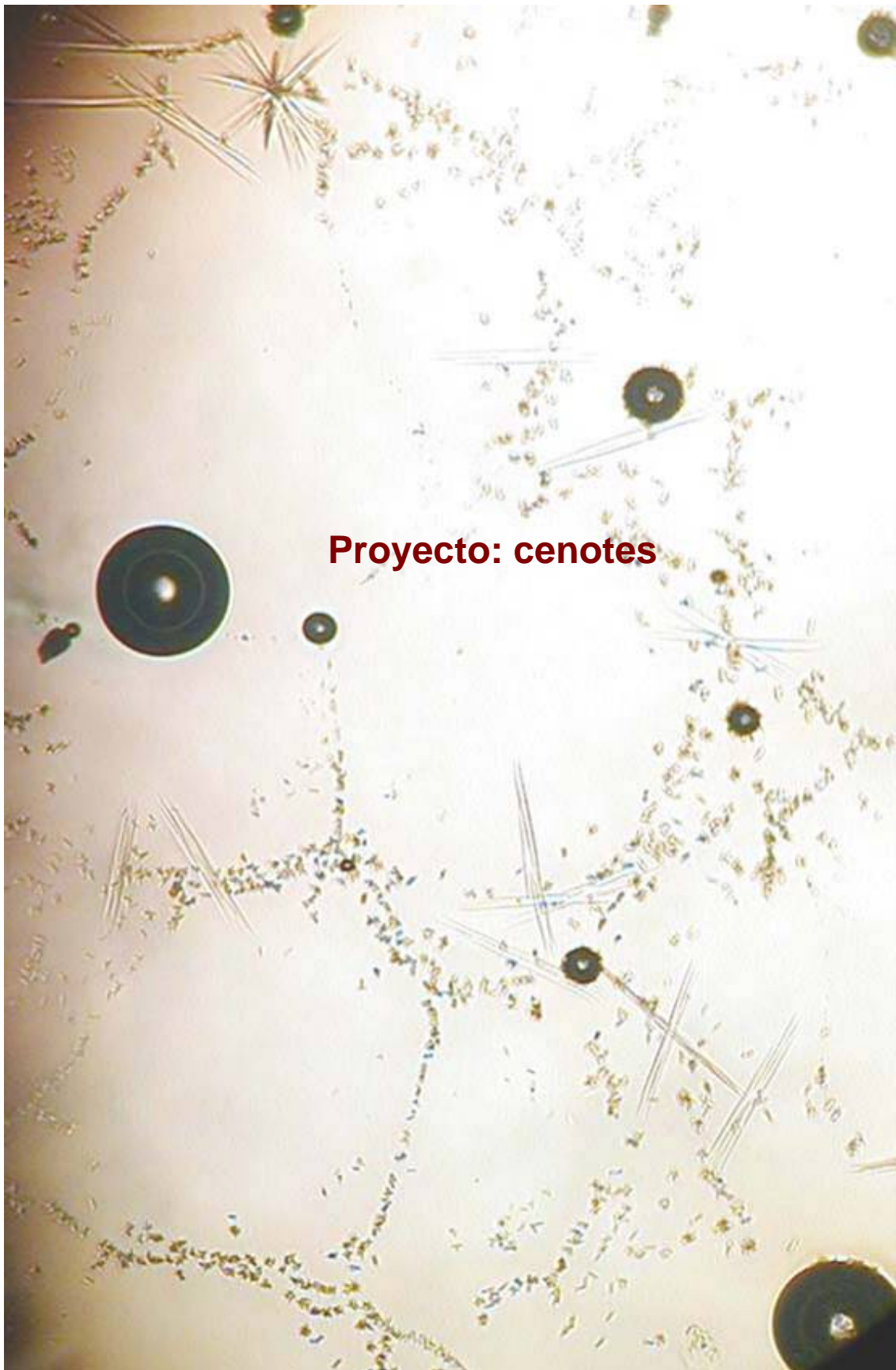
La oposición apariencia-esencia es uno de los aspectos formales que me interesan de la combinación de vidrio con otras materias. Algunas de mis obras se han basado, precisamente, en la repetición de objetos moldeados en vidrio y plomo, junto a los originales, para tratar de reflexionar acerca de lo que hay bajo la piel de las cosas.

Una de las cualidades formales que prefiero en el vidrio es su transparencia. La consecución de un volumen interno me parece importante en la obra escultórica en vidrio; cuando trabajo con otras materias opacas, sólo puedo describir un volumen externo correspondiente al contorno, pero el interior de la pieza se mantiene en el ámbito de lo *desconocido*, de lo *inaccesible*. El vidrio puede mostrar ese interior, haciéndolo visible, conocido, pero conservándolo dentro del ámbito de lo inaccesible. Por otra parte, el vidrio puede ser sólo parcialmente transparente, desvelando una zona interior y ocultando otra; este recurso formal es una manera de añadir a la obra cierto misterio, de dar la oportunidad al espectador de imaginar lo que no ve.

La utilización de la cualidad líquida del vidrio es otro de los aspectos formales que he tratado de explotar en mis obras. El vidrio fusionado, con sus colores y sus burbujas, evoca mundos acuáticos. Las formas suaves, *derretidas*, de los vidrios termoformados y de las texturas creadas mediante fusión en relieve también traen a la memoria las formas del agua y del hielo.

El vidrio cambia con la luz que recibe. En muchos casos, esta tesis describe la diferencia de color o de textura que se percibe en ciertos vidrios cuando se ven *en transparencia* y cuando se ven *en reflejo*. El vidrio también puede dejar pasar la luz a través de él y proyectarla, modificada, en otra parte. La dificultad que entraña iluminar y fotografiar obras escultóricas en vidrio se ve compensada por la relación íntima que el vidrio establece con la luz.

A nivel simbólico el vidrio también aporta connotaciones a mi obra, pues en ocasiones he intentado mostrar aspectos como la fragilidad, la veracidad o la pureza (asociadas a la transparencia), o ciertos aspectos del imaginario colectivo, provenientes de la tradición cultural, relacionados con los objetos de vidrio, como los zapatos de cristal.



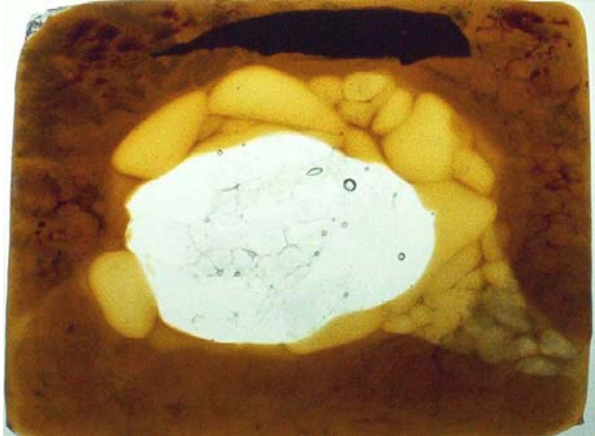


Cenote³ Dos Ojos. 2003. 16 x 20 cm.
Fusión de vidrio Bullseye con inclusiones

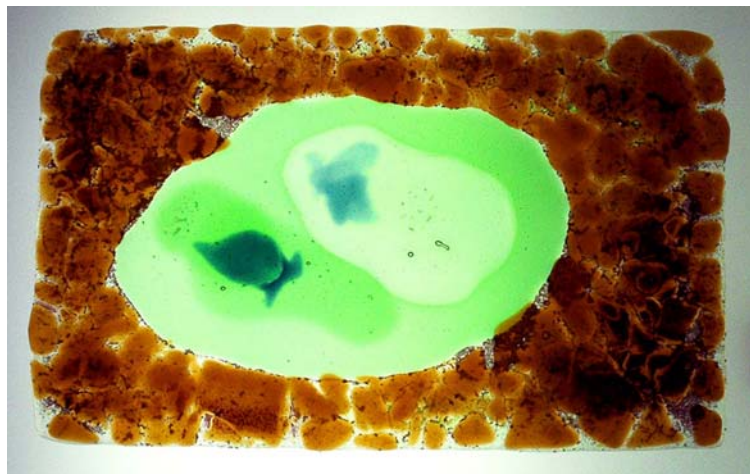


Ventre de Kukulcán, I. 2003. 14 x 20 cm.
Fusión de vidrio Bullseye con esmaltes e inclusiones.

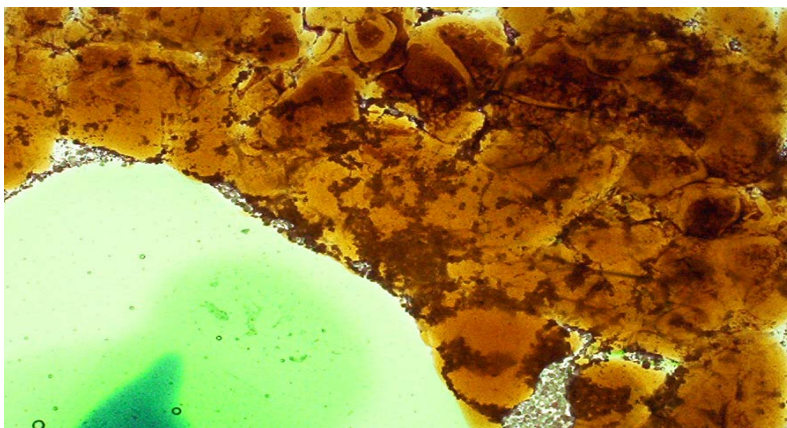
³ Los cenotes son lagunas subterráneas de agua dulce. Abundan en la zona de Yucatán (México). En ocasiones asoman a la superficie formando lagunas de aguas de diversos colores. Para los antiguos mayas tenían un significado religioso y ritual.



Espacio interior I. 2003. 12 x 16 cm.
Fusión de vidrio flotado y casco reciclado con inclusiones.



Espacio fértil. 2003. 14 x 19 cm.
Fusión de vidrio flotado y casco reciclado con esmaltes y arenas. Abajo, detalle.





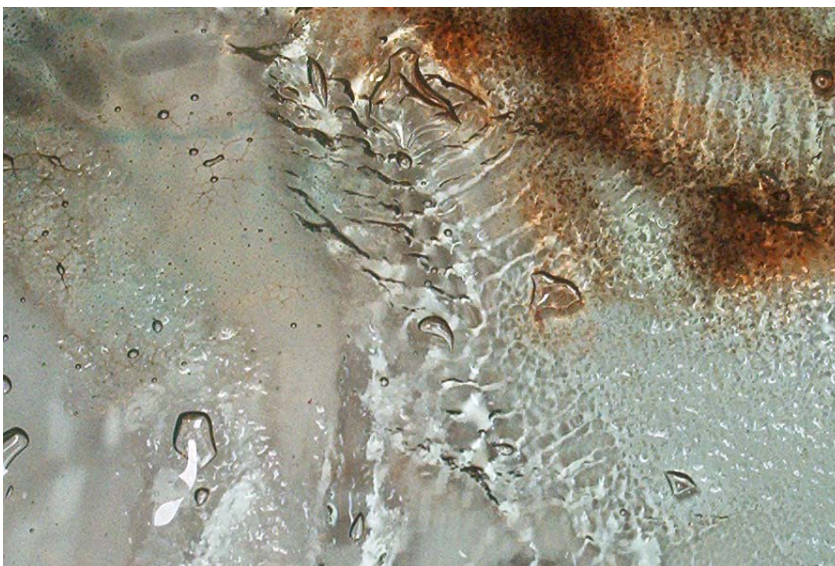
Cenote del pensamiento I. 2003. 31 x 26 cm.
Vidrio flotado fundido y termoformado, con inclusiones y esmaltes.



Bajo los pies I. 2003. 23 x 17 cm.
Vidrio flotado y esmaltado, fundido con inclusiones y oro coloidal.



Cenote del pensamiento II. 2003. 42 x 32 cm.
Vidrio flotado fundido y termoformado con inclusiones y esmaltes.
Abajo, detalle.





Bajo los pies II.
2003.
23 x 15 cm.
Vidrio flotado fundido
y esmaltado.

Laguna viva I. 2003.
23 x 15 cm.
Vidrio flotado fundido y
esmaltado, oro coloidal.





Laguna viva II. 2003. 22 x 17 cm.
Vidrio Bullseye fundido y esmaltado, plata fina.



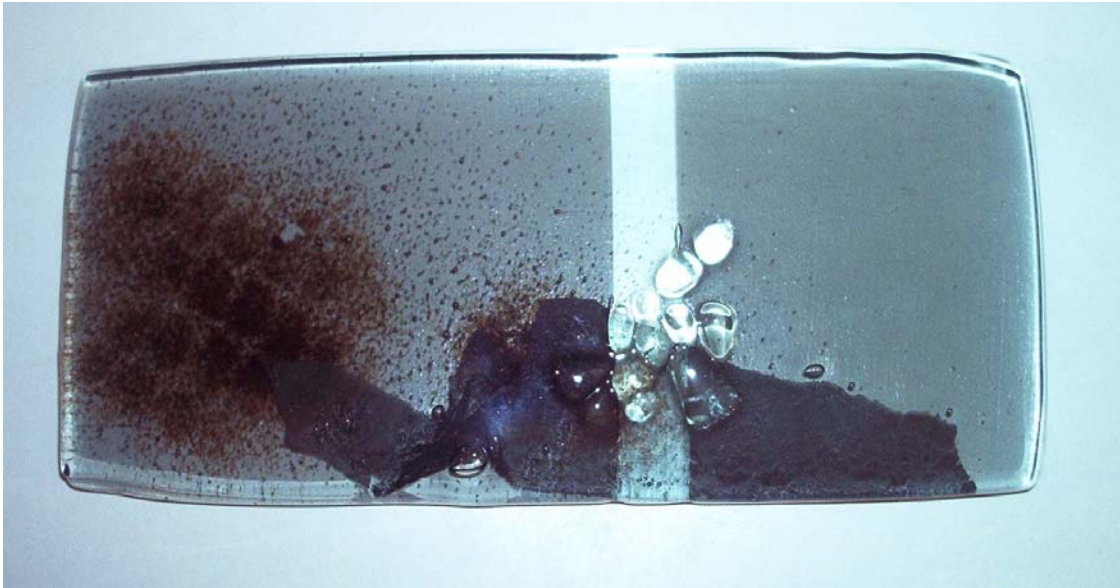
Entrada a la laguna interior, I. 2003. 17 x 15 cm.
Vidrio flotado blanco y gris, arenas y esmaltes, pan de oro fino.



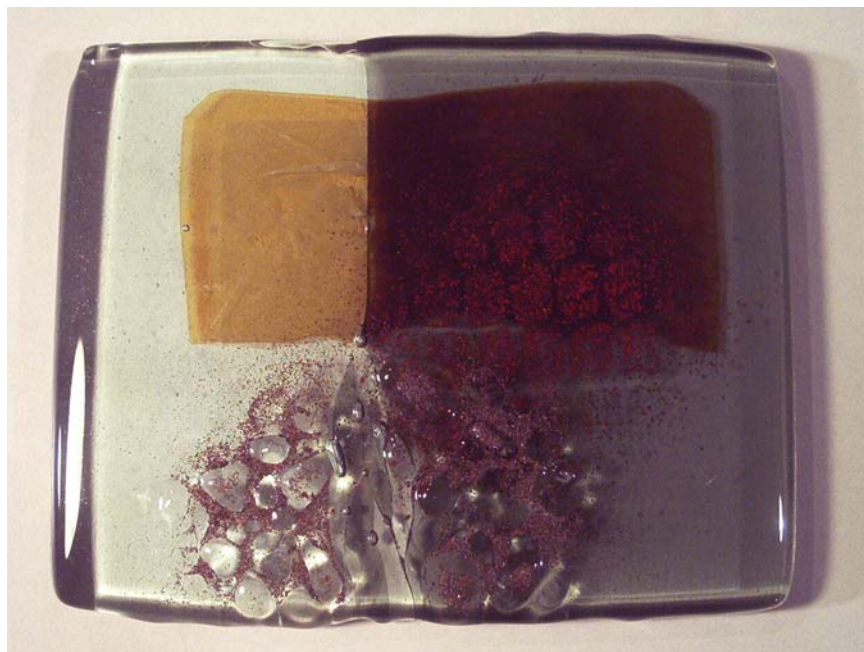
Entrada a la laguna interior, II. 2003. 10 x 15 cm.
Vidrio flotado y casco reciclado fundidos con arenas y esmaltes.



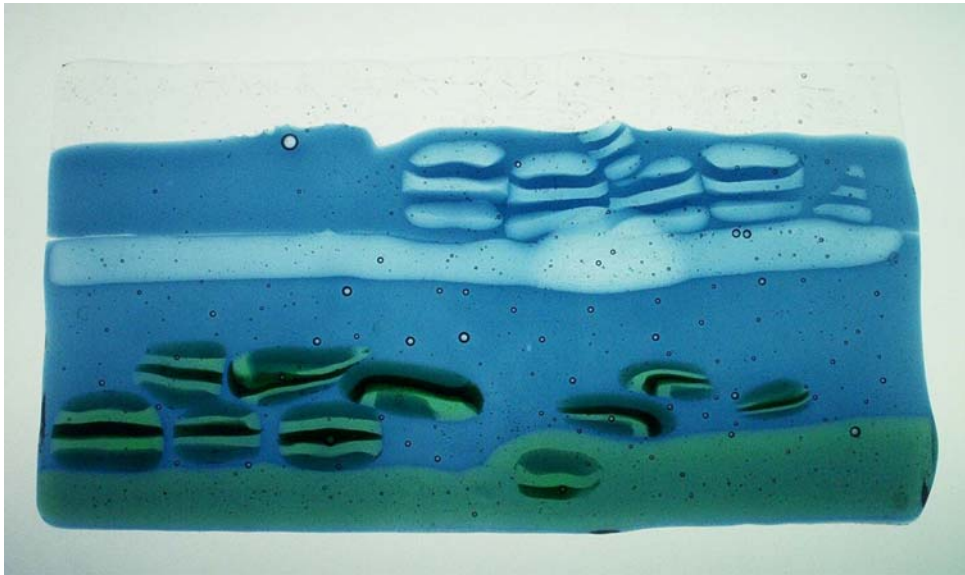
Entrada a la laguna interior, III. 2003. 23 x 14 cm.
Vidrio flotado fundido y termoformado con arenas e inclusiones



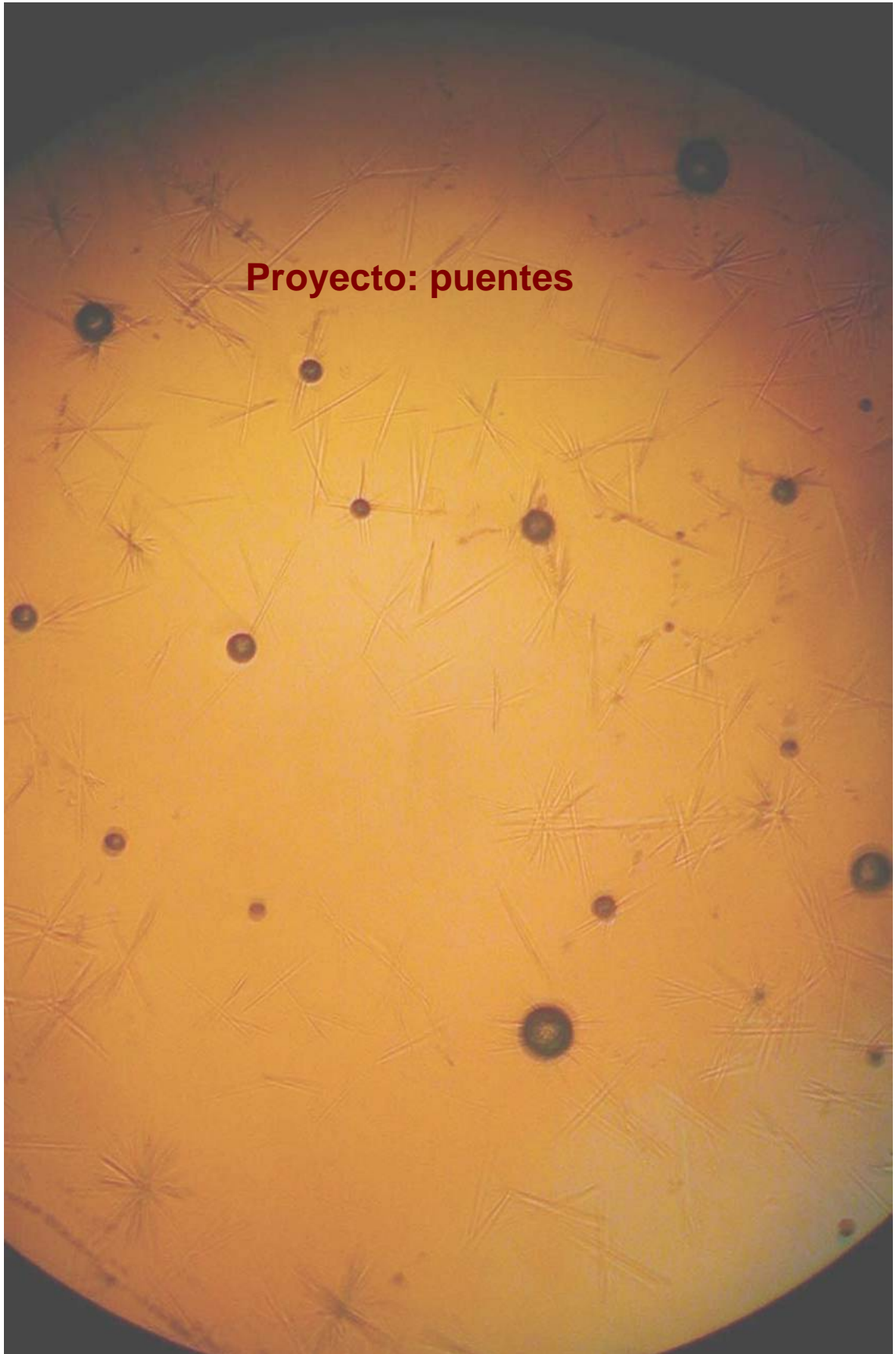
Entrada a la laguna interior, IV. 2003. 17,5 x 8 cm.
Vidrio flotado blanco y gris, fundido con inclusiones y arenas.



Entrada a la laguna interior, V. 2003. 10 x 13 cm.
Vidrio flotado blanco y gris, fundido con inclusiones,
esmaltes y arenas.



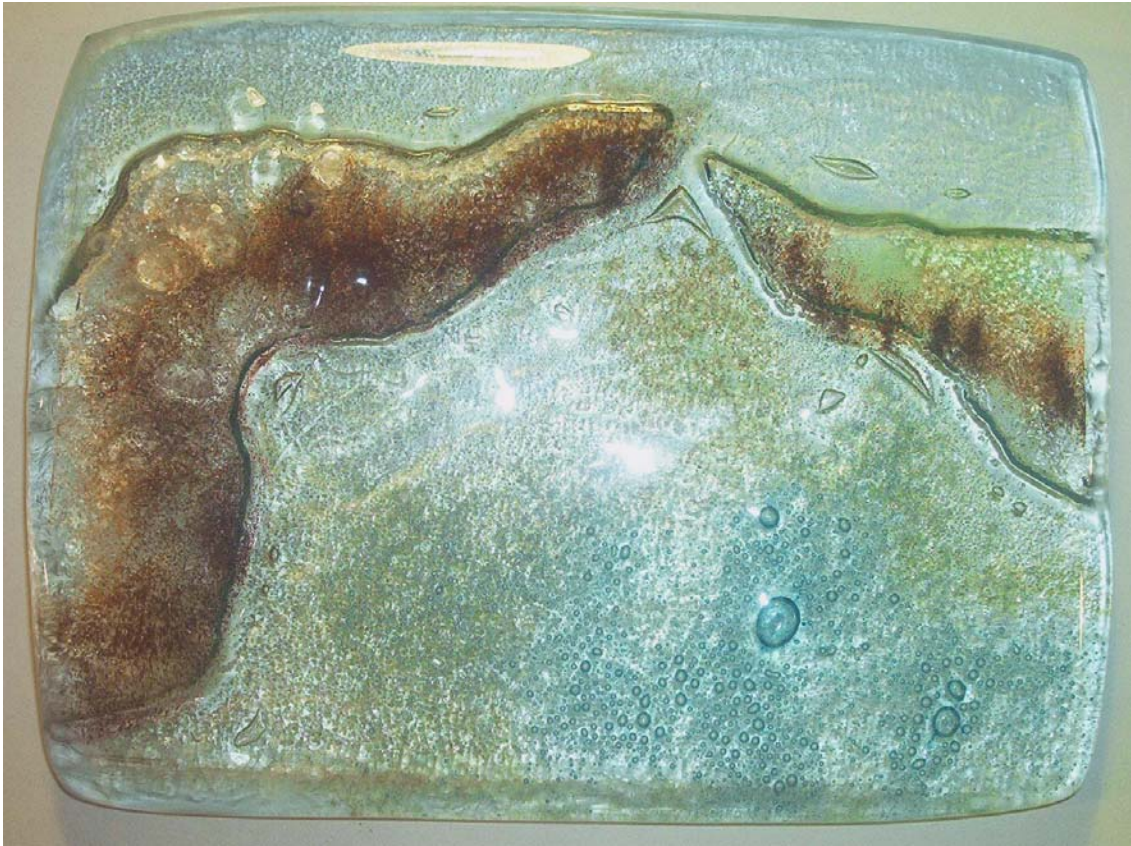
Halocrínea en Kukulcán. 2003. 22 x 12 cm.
Vidrio Bullseye fundido



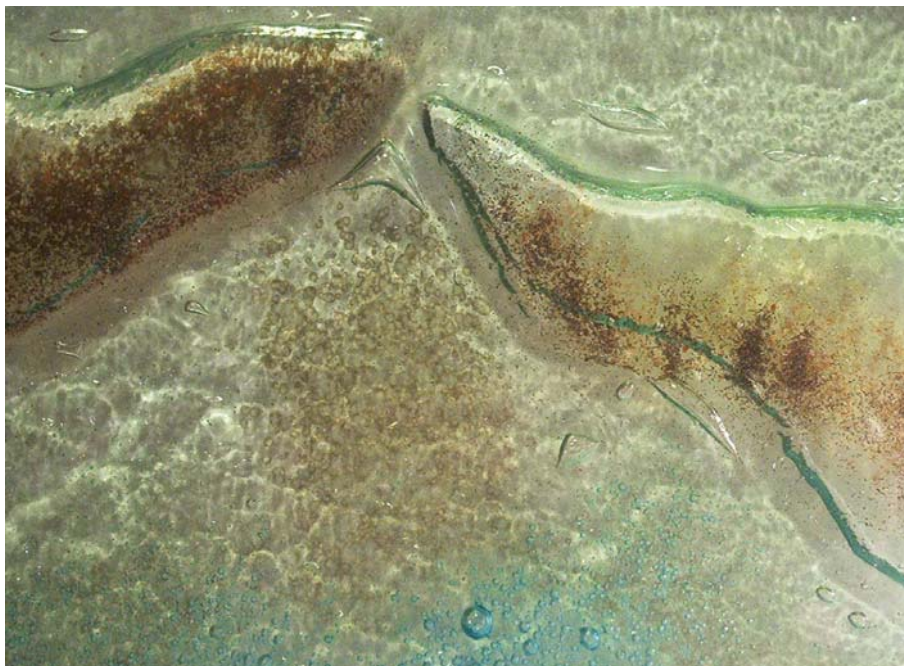


Puente de la fortuna I. 2002. 17 x 22 cm.
Vidrio flotado, fundido y termoformado con esmaltes e inclusiones.
Abajo, detalle.





Sin tocarse. 2002. 14 x 17 cm.
Vidrio flotado fundido y termoformado, con esmaltes.
Abajo, detalle.





Puente de lenguas I. 2002. 15 x 12 cm.
Vidrio flotado, fundido y termoformado, con inclusiones y esmaltes.
Abajo, detalle.





Puente de agua I. 2000-2002. 20 x 20 cm
Vidrio de borosilicato moldeado y fundido.
Abajo, detalle.





Puente de los huesos I. 2003. 17 x 25 cm
Vidrio float moldeado y fundido, esmaltes.
Abajo, detalla.







Jardines de guerra I. 2001. 10 x 30 cm.
Vidrio flotado, termoformado, con inclusiones y esmaltes.
Abajo, detalles.



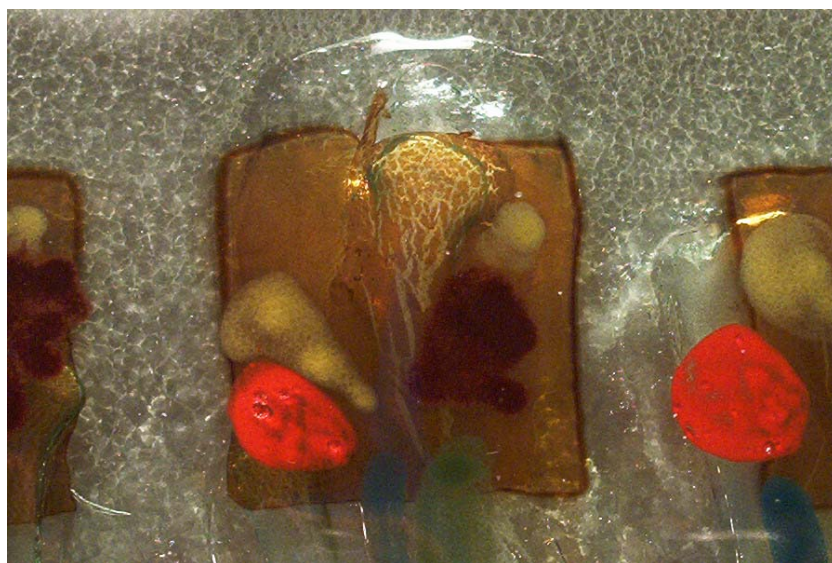


Jardines de guerra II. 2001. 22 x 15 cm.
Vidrio flotado, termoformado, con inclusiones y esmaltes.
Abajo, detalle.



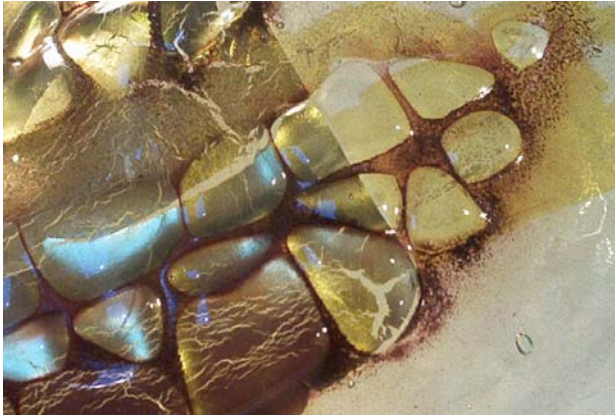


Jardines de guerra III. 2001. 17 x 25 cm.
Vidrio flotado, termoformado, con inclusiones y esmaltes.
Abajo, detalle.





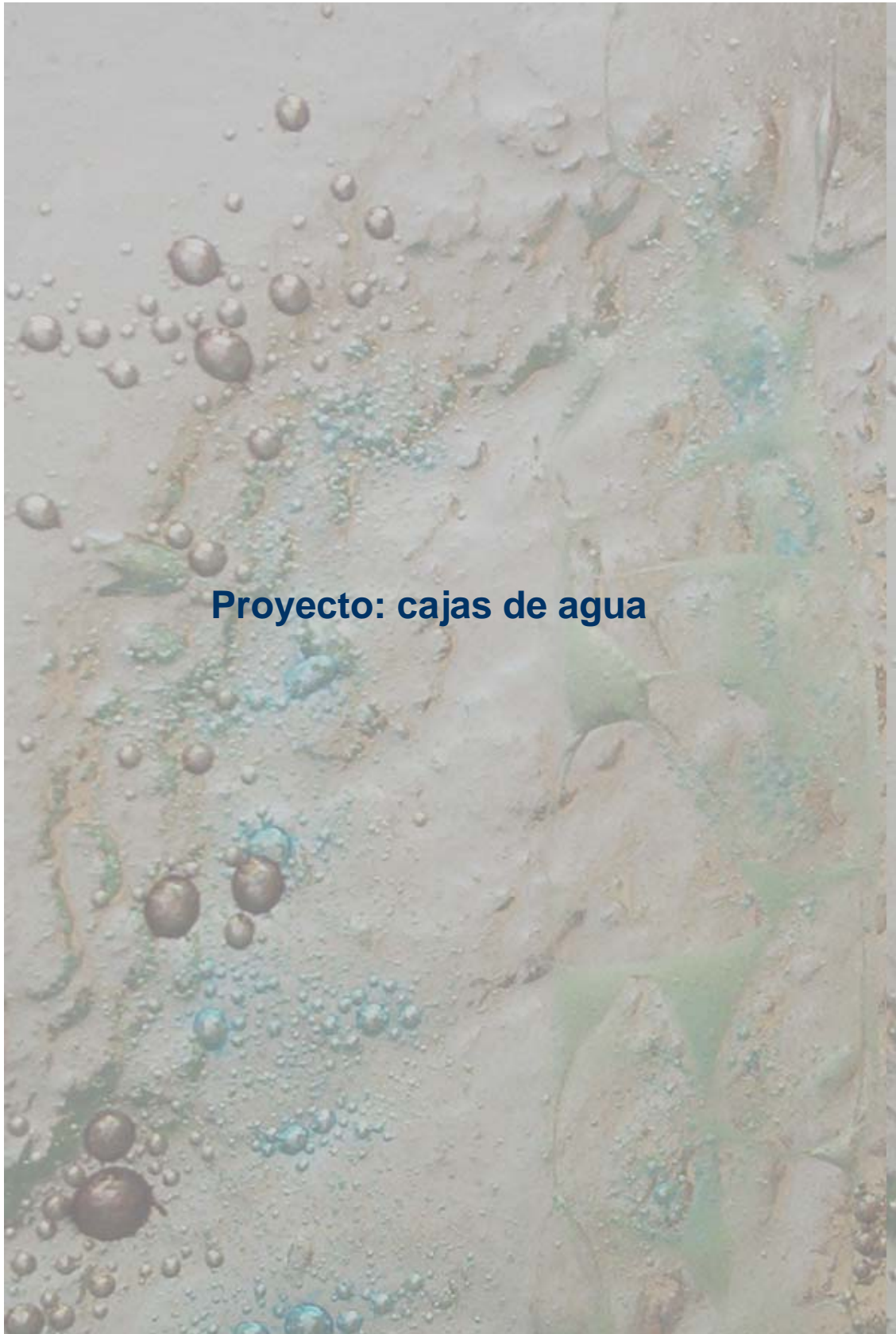
Flor bucráneo I. 2003. 20 x 47 cm.
Vidrio float termoformado, con esmaltes e inclusiones.



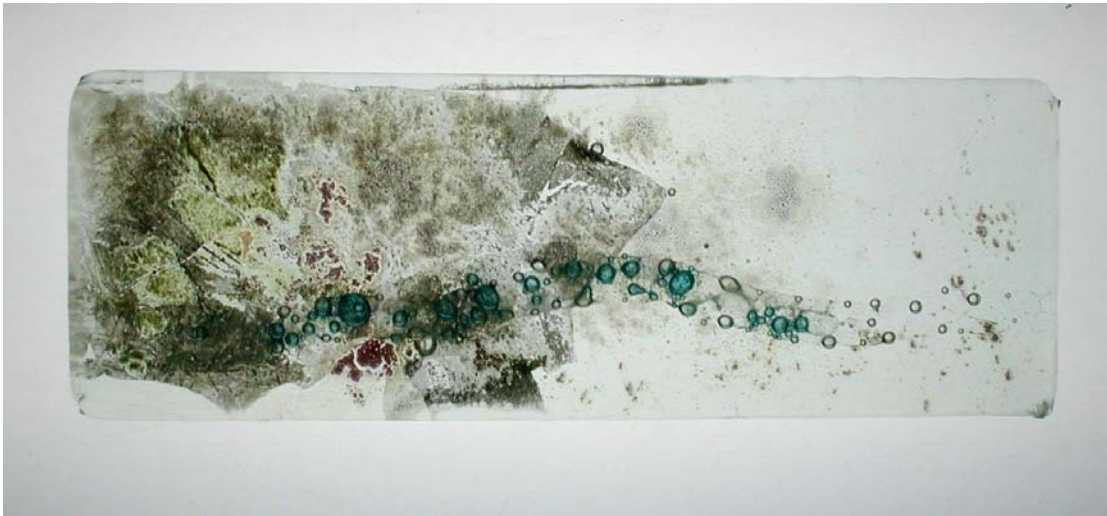
Flor bucráneo I. 2003. Detalle.



Paisaje objeto I. 2001. 24 x 18 cm.
Vidrio flotado, con inclusiones y esmaltes.



Proyecto: cajas de agua



Caja de agua I. 2000. 27 x 10 cm.
Vidrio flota fundido con inclusiones y esmaltes.



Caja de agua II. 2000. 27 x 10 cm.
Vidrio flota fundido con inclusiones y esmaltes.



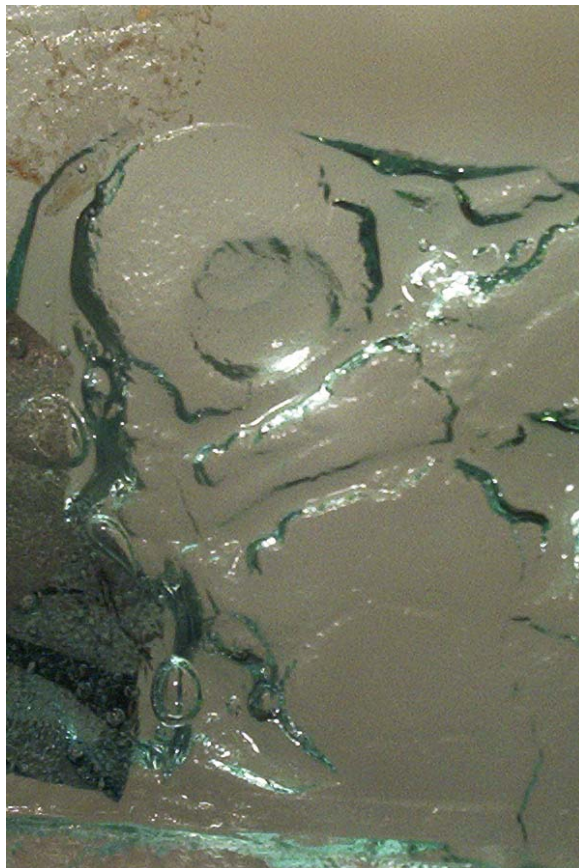
Caja de agua III. 2000. 27 x 10 cm.
Vidrio flota fundido con inclusiones y esmaltes.



Fondo de agua I. 2002. 27 x 10 cm.
Vidrio flota fundido con inclusiones y esmaltes.



Del río Viejo I. 2000. 27 x 10 cm.
Vidrio flota fundido con inclusiones y esmaltes. Abajo, detalle

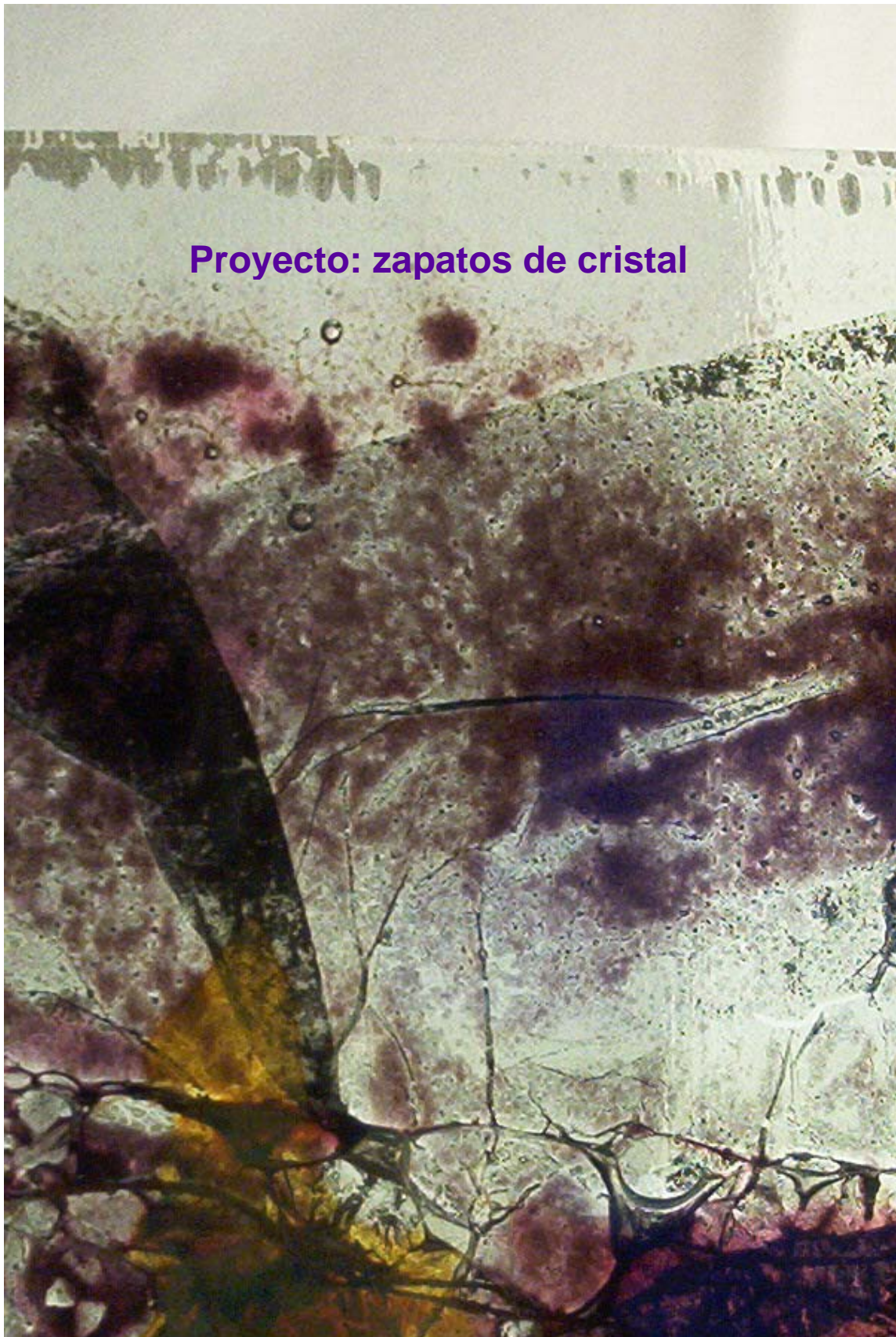




Ola preñada I. 2003. 22 x 14 cm. Vista frontal
Vidrio float moldeado y fundido. Abajo, cara posterior. Página siguiente, detalle.









Mi zapato de cristal I. 2003. Talla 36.
Vidrio fundido, esmaltes, material textil, goma.

Entrevistas con artistas durante el congreso de Arte en Vidrio de La Granja.

Preguntas realizadas:

1. ¿Por qué elegiste el vidrio como material para tus obras?
2. ¿Qué técnica crees que es la más adecuada para realizar tu obra y por qué?
3. ¿Qué cualidades aporta el vidrio a la obra de un artista actual?
4. ¿Hay alguna cuestión importante sobre la escultura en vidrio que no se haya mencionado en esta entrevista?

MIRIAM DI FIORE

1. Porque es el único material que tiene el afuera, el adentro, el arriba, el abajo, y el detrás y el adelante, tiene todas las dimensiones, es posible el hacer ver no sólo la superficie sino también el interior. Hay plásticos que tienen eso, pero a mí me gusta jugar con el fuego... Es eso, pasa por todas las posibilidades de la visión y también la del tacto. La escultura en otros materiales tiene el límite de que la luz trabaja sólo en la superficie, me fascina la idea de que yo, dentro del bloque de vidrio, puedo crear un universo sin límites.
2. Para mí la fusión, por lo que estoy haciendo últimamente, "el fusionado" sería la terminología justa, pero me gustan todas las técnicas de vidrio, me gusta mucho el vidrio caliente, el soplado, últimamente he empezado a hacer las dos cosas, hacer primero un trabajo de fusionado y luego arriesgarlo calentándolo de nuevo y levantándolo con una caña; tengo proyecto de trabajar con bloques de fusionado incluidos en el interior de vidrio de colada y espero en el futuro aprender a trabajar de otras maneras porque no hay una técnica de vidrio que no me guste; todo, la talla, la incisión, el casting, el colado de arena, el colado en moldes de otro tipo, todo me gusta. Una no puede hacer todo, las técnicas son lentas, el vidrio te obliga a tiempos muy largos de trabajo, el tiempo pasa, la vida también, esperamos poder llegar a experimentar aún más, llegar a poder ver qué es lo que uno tiene para decir en el interior de lo que es la gramática que te permite el vidrio en toda su complejidad.
3. El vidrio es una paradoja desde el punto de vista físico, hay quien tiene la hipótesis de que haya posibilidades de moléculas vivientes a base de silicio, que se hubiera podido formar la vida no de la molécula de hidrógeno, sino de la de silicio; leí eso y me volvió laca la idea. El vidrio se mueve constantemente, es difícil de estabilizar, creo que es el material más adecuado precisamente por lo multifacético; en el mundo en que vivimos se evoluciona a una velocidad enorme; la velocidad de la vibración molecular del vidrio es muy interesante: nunca se solidifica ni se funde verdaderamente, es sólo una metamorfosis constante del mismo estado y

es lo que nos pasa a nosotros viviendo. Hay cosas muy interesantes en el vidrio que reflejan la sociedad actual. Yo cuando trabajo vivo haciendo metáforas entre el vidrio y la vida cotidiana. Para aumentar la resistencia física de un vidrio, se lo tensiona, se produce una guerra interior y es tan fuerte que el vidrio no se da cuenta de la agresión exterior. Es lo que pasa a veces en un país que tiene una guerra civil, pero al mismo tiempo es extremadamente frágil porque si le das un pequeño golpe en un punto exacto donde está débil, destruyes todo. Lo mismo pasa en una sociedad que tiene una crisis interna. Hay montón de cosas en el vidrio que se parecen a la vida cotidiana; otros materiales no, son más tranquilos, el vidrio no es tranquilo, puede ser extremadamente peligroso, puede hacer mucho daño y al mismo tiempo contener el máximo de la belleza posible. El ser humano es así, contiene el máximo de la belleza posible y es el peor, el más peligroso de los seres vivos. Qué se yo, podría seguir diciendo cosas de este tipo por dos horas. Creo que el vidrio sea el material actual de expresión, además como te decía antes, tiene un vocabulario tan amplio que permite cualquier tipo de discurso, se puede usar para cualquier tipo de lenguaje, para todo, otros materiales no, son más rígidos, más profundos, más oscuros. El vidrio tiene todo, desde el negro más profundo a la ausencia de color, tiene la dureza, es resistente, si lo haces bien es eterno, quizá más que el bronce, cuando veo en museos arqueológicos una pieza hecha hace 2000 años es más hermosa aún que cuando fue hecha, las cosas hechas con piedra o con bronce están deterioradas, y el deterioro quita estética, pero en el vidrio el deterioro añade estética, continúa comunicándose con el ambiente arruinándose de manera positiva: las iridiscencias, los efectos de la superficie, ningún material arcaico lo posee.

Es difícil de restaurar también, otra cosa muy interesante, se puede restaurar en manera casi absolutamente perfecta una pieza hecha en bronce, una pieza de vidrio arcaica es imposible llevarla a su origen porque se ha modificado de manera profunda, no puedes corregir lo que el tiempo ha hecho en una pieza de vidrio, son cosas muy sutiles y muy interesantes que a mí me hacen sentirme cada vez más atraída y más envuelta en este material, pero no sé hasta qué punto eso sea positivo para un artista, tendría que ser menos sensible a la fascinación del material, yo estoy totalmente capturada por la materia y esto probablemente me causa problemas limitaciones de expresión.

4. En la escultura en vidrio hay un factor que me gusta pensar que es importante: el vidrio te obliga al estudio. Para que el vidrio pueda ser usado como material escultórico, como medio de expresión para una idea o un sentimiento, tienes que conocerlo íntimamente. A diferencia de otros materiales, que basta que los conozca otra persona que pueda hacer tu obra, con el vidrio no es así; con el vidrio para que tu obra sea lo que tú deseabas, tienes que conocerlo tú, no está dicho que tengas que hacer tú, que tengas que trabajar sola, pero seguramente es importante para el artista conocer las leyes físicas del vidrio y respetarlas. Si no lo respetas, hace lo que se le da la real gana. Y no hay manera de obligarlo a hacer algo que no esté en su naturaleza hacer, tienes siempre que hacer un diálogo con el material, más que nada ese diálogo tienen que ser anterior a la idea,

en el sentido de que es muy difícil imaginar una pieza en vidrio si no conoces el vidrio, y eso me gusta, me gusta que el artista esté obligado a conocer la materia para poderla usar. Es como la música, se parece mucho a la música, puedo adorar la música, y soñar con tocar en el piano un concierto de Bach, no digo para componer mi obra, para eso necesito primero estudiar años y años el instrumento con el cual yo voy a emitir mi canto, y luego aún más para poderlo usar para componer algo mío, con otros materiales no es tan complicado, tallar madera o piedra, puedes dar el golpe equivocado pero no se te rompe... con el vidrio los factores son muchos más, la pieza se puede romper espontáneamente, sola, mucho tiempo después que la has trabajado por causa de un error, de una desatención el día que la has trabajado. Te lo hace pagar, es vengativo. Esto obliga al artista a tener una relación particular con la materia que con otras materias no sucede. A mí me fascina esto, porque siento una especie de comunión entre la materia, en mi obra esta comunión es indispensable, no puedes evitarla, no puedes, mucha gente se olvida de esto y trata de trabajar con el vidrio y el vidrio no le satisface y creen que la culpa es del vidrio pero no es así, la culpa es del poco conocimiento que tienes de la materia del vidrio.

JAVIER PÉREZ

1. Yo no he elegido el vidrio como materia para mi escultura sino que lo elijo constantemente, o sea, yo me planteo una escultura y decido los materiales que quiero utilizar para esta escultura en función de la estética que debe tener, el material que crees que te funciona para representar la idea en la que estás. El vidrio, aparte de que lo conozco porque lo he trabajado bastante, aparte de pintura y escultura estudié casi todas las técnicas del vidrio, o muchas de ellas, lo tengo bastante próximo y eso me permite pensar en vidrio como una posibilidad que quizá otros escultores no pueden porque no han tenido acceso a conocer estas técnicas y estas posibilidades que el vidrio tiene. Yo creo que las conozco bastante y para mí es muy fácil expresar ideas en vidrio.
2. No me adscribo a ninguna técnica especialmente porque... últimamente estoy trabajando más cuando hago las cosas de vidrio en termoformado porque me está permitiendo hacer montajes un poco más, como decir, ... trabajo más en termoformado no sé por qué, pero he trabajado en soplado, he utilizado todas las técnicas de frío, también a menudo pido la parte de vidrio que necesito, porque puede ser una simple forma de 1m x 50 cm de 10 de grosor y necesito que además esté pulida, y simplemente pido a fábrica una plancha así, no considero que tengo que trabajar una técnica concreta del vidrio y desarrollarla y buscar, simplemente considero que tengo que adecuar el vidrio en la medida que necesito como escultura.
3. Esta sí es la pregunta que me gusta que me hagas, porque creo que el vidrio no es suficientemente conocido porque las características que tiene por sí el vidrio son muy, muy, muy actuales, hay una posibilidad de

virtualidad, de imagen frágil, de falta de materia, que es muy propio a la escultura contemporánea. Creo que la escultura contemporánea si por algo se puede definir es por haber pasado por todas las etapas de lo conceptual, de la falta de obra, en definitiva de fragilidad en cuanto a producto, o sea es muy ... en el arte contemporáneo, porque creo que no se puede diferenciar lo que es una escultura de lo que es ... quizá no se encuentra esta voluntad de permanencia o esta voluntad matérica que antes quizá sí había. En este sentido yo encuentro que es difícil de combinar la idea de la materia como parte esencial de la obra, o sea la materia es, pero no es en el arte contemporáneo la parte esencial de la obra. No creo que ningún artista contemporáneo se plantea que tiene que hacer un trabajo en un material o en otro, se plantea hacer un trabajo por el desarrollo de unas ideas, unas sensaciones o unas emociones que tiene y busca la manera de llevarlas a cabo o de imbuirlas en aquel producto que al final saca, pero que no tiene por qué ser en absoluto matérico. En este sentido, sólo hay que echar un vistazo para darse cuenta de que (el vidrio) es uno de los materiales que más puede ayudar para transmitir este materia-no materia, esta luz, para mí la luz es muy importante, actualmente tenemos mucha posibilidad con las técnicas de trabajar con la luz, y el vidrio es un buen receptor de la luz. Para mí esto es lo que más define las posibilidades del vidrio dentro del trabajo artístico contemporáneo. De hecho, a mí me gusta trabajar con el vidrio como efectos de luz únicamente. A partir de aquí, creo que las técnicas actuales o las posibilidades que tenemos electrónicas, de proyección de video y de imagen, tenemos una capacidad de imbuirlo con luces que antes no teníamos, antes era la luz del sol y ya está, ahora tenemos una capacidad de meterle diferentes luces para trabajar mucho el concepto luz, y el vidrio es un buen receptor de esa luz.

4. Hay muchas cosas, no sé. Es una pregunta muy amplia, algo en concreto... No se me ocurre nada ahora mismo.

PEDRO GARCÍA

1. Cuando yo era muy chiquitito tenía inquietudes artísticas; en un momento dado, decides expresarte con aquella materia que tienes entre las manos. Toda mi familia trabajaba en el vidrio, entonces desde los 16 años, desde hace afortunada o desafortunadamente para mí, porque ya tengo 46, desde hace 30 años empecé a manejar me con el vidrio. Hace 26 años empecé ya a hacer lo que es escultura en vidrio, a coger láminas y unirlas. Claro, cuando empiezas en este material, tu empiezas o bien desde el vidrio caliente si eres soplador, si estás en ese mundo, o bien desde un taller industrial de vidrio plano, que es mi caso. Entonces empecé con vidrio plano y empecé a hacer con la materia que tenía entre mis manos, que son esas láminas, volúmenes que me sugerían y que yo quería realizar en función de expresar una idea de elevación, de torsión, una idea geométrica etc. Digamos que es por lo que yo hice vidrio, porque viví desde pequeño con él. Y en cualquier caso, había una inquietud personal por expresar unas ideas. Es decir, yo creo que uno tiene una misión en esta vida, cada uno tiene la suya, y yo siempre he pensado que la mía era comunicar cosas que no soy

capaz de comunicar hablando. Mi lenguaje a la hora de comunicarme con el resto del mundo era el artístico, y escogí vidrio, y también ahora estoy con otros materiales: maderas, hierros, etc. Trabajo muchísimo el vidrio y la madera juntos y fusionados, y luego con soportes metálicos, estructuras metálicas en las que acoplo vidrio. Ese es un poco mi lenguaje.

2. Esta es una pregunta complicada, en mi caso he llegado a tocar creo que prácticamente todas las técnicas en vidrio, es decir, desde el vidrio plano cortado a fusionado, excepto la técnica del soplado, que yo solo he acudido a ella una vez con el maestro Luciano Vistosi de Murano y Pere Ignasi de Mallorca, con ellos dos hice yo un diseño, el uno sopló, el otro cortó, yo ayudé, fue mi única experiencia en vidrio soplado y no he hecho más. Excepto esa técnica, todas las técnicas de vidrio laminado, vidrio trabajado en frío, pulido, cortado, todas las demás están realizadas, pero hay unas especialmente que creo que son las que definen mi obra, que creo que son el camino de mi obra, en este momento y en un futuro espero, aunque no sé muy bien cuál es el futuro. Yo soy una persona que elaboro una técnica, hago obras con ella, y presento unos resultados. Cambio a otra técnica, elaboro otras piezas y presento otros resultados, es decir, cada etapa de mi vida tiene una forma de hacer vidrio diferente, y por tanto unos resultados absolutamente distintos. Por tanto puedes ver esculturas de vidrio laminado pegado que era una primera técnica, cortados con formas y unidos con un pegamento, pasando a vidrio fundido y termoformado, que es mi técnica actual. La técnica que yo quisiera poner como mía y como innovación es la inclusión dentro del vidrio de materiales orgánicos, es decir, vidrio laminado, fundido sobre un molde termoformado, es decir, haces un original, sobre ese original haces unos moldes de escayola y sílice, y sobre esos moldes fundes tus láminas de vidrio, pero esas láminas no están tratadas de una manera normal, sino que se les echa productos químicos, se les echa sustancias orgánicas, se les echa espinas de pescado, se les echa cáscaras de huevo, se les echa oro, plata, se les echa un montón de materiales tanto orgánicos como químicos para producir dentro del vidrio una serie de efectos, un mundo interior que es realmente lo que yo busco en el vidrio. Quizá la característica global de lo que yo busco en mi obra es que las piezas tengan siempre algo que decir desde dentro, algo que decir por dentro, una vida interior fuerte. Cuando hacía laminado metía color dentro, ya ahora lo que hago es fundir laminado, pero cuando hago el termoformado le introduzco dentro sustancias orgánicas como madera. Hago en definitiva que el vidrio luche contra la madera, igual que yo entro también en ese diálogo con el vidrio, esa es un poco la técnica básica. Ahora, estoy en un proceso de mezcla del vidrio frío y caliente, pero no porque pegue lo frío con lo caliente, sino porque fundo en el horno y estoy consiguiendo fundir parte del vidrio y la otra parte no; la parte que fundo es agresiva, tiene colores fuertes, y la parte que no es casi totalmente transparente y sin ninguna agresividad, con poca erosión, entonces como ves evoluciono en las técnicas y por tanto al evolucionar en las técnicas y cambiarlas, también evoluciona el contenido de la comunicación, el contenido de la obra, lo que quiero decir con ella.

3. Soy una de las pocas personas que creo que el vidrio es una materia de arte, tantas veces considerado como otra cosa, como un proceso preartístico, o diferente a lo artístico. Yo creo que uno ha de expresarse en escultura, y expresar con esas esculturas lo que quieres decir. El material con el que lo hagas sea papel, sea vidrio, sea cartón, sea bronce, sea piedra, sea madera, todos los materiales son válidos, siempre que el lenguaje de esos materiales esté adaptado a lo que tú realmente quieres comunicar. Es decir, si queremos comunicar a través de un libro un lenguaje, hemos de escribir letras. Si queremos comunicar un mundo interior, un efecto de luces y sombras, una serie de conceptos que sólo para mí se pueden expresar a través del vidrio, hemos de utilizar vidrio, y si queremos comunicar formas opacas hemos de utilizar bronce o hierros... Es decir, cada material en el arte tiene su propio lenguaje. Yo utilizo vidrio porque el lenguaje del vidrio fundamentalmente son dos cosas: la transparencia, la luz, y el contenido a nivel de color y de volumen. Para mí el vidrio es luz, color y forma. La luz es fundamental, incide en el vidrio y desde la mañana a la noche tú siempre en el vidrio tienes una obra absolutamente diferente. Pero eso pasa con el vidrio y pasa con el bronce. Si le da la luz del día tiene un color diferente, se le ve con unas formas diferentes, que por la noche. Con lo cual, aunque pasa con todos los materiales, qué diferencia establezco yo, que a través del vidrio pasa un montón de luz que es capaz no sólo de absorber, sino de reflejar. Eso también nos da el carácter intimista que yo te explicaba antes, desde dentro del vidrio tener un lenguaje para sacarlo fuera del vidrio. Por eso utilizo vidrio además de otros materiales. Te comentaba que utilizo vidrio, madera, hierro, incluso bronce etc. pero el vidrio tiene esa cualidad, le dotas de un mundo propio, de una interioridad, fuerte y con mucho contenido, para desde ahí, sacarlo hacia fuera a través de la luz, de la visión del ojo humano, porque yo creo que la escultura al final no tiene que ser una cosa estática que tú vas, la contemplas y ya está, a mí me parece que el mundo ha evolucionado en el sentido de que la escultura tiene que ser algo interactivo en el cual el espectador participe de la obra o bien dando vueltas o la obra ideal para mí sería aquella en la que tiene una luz, tiene el vidrio por sí mismo, gira la pieza (pero gira la pieza cuando el espectador llega a ver la escultura) es decir, estás viendo una exposición y pasas por una serie de obras, y cada vez que pasas y te quedas mirando una, la obra comienza a girar incluso a emitir sonidos musicales del tipo que sea. Es decir, esa intercomunicación con la obra, e incluso a veces, un escrito con lo que la obra quiere decir. Hay mucha gente que critica las explicaciones a las esculturas o al arte. El arte no tiene explicación, cada autor quiere decir lo que quiere decir. Pero yo creo que a veces todas las artes van unidas, y un escultor también a veces es un gran orador o un gran escritor. En la medida en que cada uno necesita para manifestar su interior, sus sentimientos, o para tener una comunicación con el resto del mundo, necesita esa escritura, o ese vidrio o esa escultura o esa palabra. Son métodos en definitiva de comunicación, para mí válidos a la hora de expresarse en arte y a la hora de comunicarse con los demás.
4. Creo que te he dicho todo lo que pienso, pero sí hay una idea que para mí es muy importante. Estamos en un lugar en el que todo es vidrio, La Granja

de San Ildefonso segoviana, sin embargo creo que sí hay algo que se ha de hacer, que en España estamos todavía en pañales, pero que es necesario hacer, introducir el vidrio... a lo mejor yo, como persona que lleva 30 años trabajando en esto ya lo he conseguido, es decir, me muevo en cauces que son exclusivamente galerías de arte y no galerías de vidrio. Nunca ha habido galerías de vidrio en España, ahora ya ha habido algunas en Barcelona y va a haber algunas en Madrid. Es importante exponer en esas galerías porque son específicas, pero realmente yo creo que lo verdaderamente importante para que el vidrio se consolide como una materia más, como una expresión más en el arte, que yo creo que ya está consolidado, es que se exponga en todos los cauces que hay normalmente, por un lado, y por otro lado creo que es importante, y que próximamente se va a hacer, que los artistas que somos en ese material, abramos nuestros talleres a artistas que pertenezcan a otras artes, y también a la nuestra, al vidrio, y ofrecerles nuestros conocimientos, para que otros artistas que se dedican a pintar, a esculpir, etc., se comuniquen también con vidrio, artistas incluso con cierto renombre, con lo cual habremos conseguido (es un poco interesado, pero funciona así) que si otros artistas con cierto renombre utilizan el vidrio para expresarse porque tienen esa necesidad y les gusta, brindar esa oportunidad a esos artistas para que juntos se pueda realizar un adelanto. Eso se está haciendo en todos los países del mundo y creo que es algo que funcionaría.

ANA THIEL

1. Más que escoger al vidrio, el vidrio me escogió a mí, casi. Estaba yo estudiando diseño, y un ingeniero fue a dar una conferencia sobre vidrio a la universidad, y cuando vi soplar vidrio me enamoré a primera vista y ya desde ahí, ya no me curo porque no quiero.
2. La técnica que más me gusta es trabajar directamente del horno. El vidrio fundido es muy directo, muy intenso. La técnica es más o menos sacar el vidrio del horno y verterlo en moldes de arena, o como estoy haciendo ahora, combinando materiales, estoy vertiendo el vidrio en madera, en metales, en otros materiales y veo su relación, cómo se quema la madera, cómo se trabaja con el metal, y me encanta porque es tan inmediata... Hay otras técnicas del vidrio que son más lentas y esta me gusta por lo inmediata aunque después tenga que trabajar en frío, y tenga que enfriarla y todo, y siento que la cualidad formal que aporta esta técnica a lo que estoy haciendo ahora es que el vidrio tiene esa cualidad líquida que conserva cuando ya se ha enfriado y eso creo que es difícil lograrlo con otras materias.
3. La obra que hacía yo anteriormente era 100% de vidrio, y en este momento sentía que en el vidrio lo importante era que podías ver a través de la pieza, que podías ver hacia el interior. Ahora estoy combinando con otros materiales, el vidrio ya no es el 100% de la materia, sino una parte quizá proporcionalmente más pequeña, pero sigue siendo el centro, el corazón de la obra, y está actuando concentrando la luz en sí mismo, la madera la refleja, el metal refleja la luz, pero el vidrio siento que la escoge, y a la hora

de volverla a emitir hacia nosotros para poderla ver, creo que la transforma, no sé si así se aprecia, es como me gusta verla.

4. Sí, yo aliento mucho a las personas que quieran trabajar con vidrio, que lo hagan y que no se desalienten. El vidrio, como material escultórico en todos estos siglos es joven. La piedra, el bronce, la madera, ya son muy reconocidas, las galerías ya las reconocen, no se cuestionan que una obra en escultura de esos materiales sea una escultura. En cambio con vidrio todavía se nos cuestiona, todavía se nos pregunta, todavía hay mucha ignorancia en el mundo del arte respecto al vidrio como materia artística. Lo que quiero es exhortar a quien lo haga, que lo haga de corazón y que lo siga haciendo, que no se fatigue, que no se decepcione.

RICHARD MEITNER

1. Creo que es porque cuando era niño siempre me parecía un material mágico y me fascinaba, por eso la oportunidad de trabajar con él fue maravillosa.
2. Utilizo las técnicas de soplado y las de esmaltado (...) El soplado me permite trabajar rápido, por ejemplo más veloz que el casting, puedes hacer más bocetos que si estuvieras trabajando con un proceso muy lento como el casting. Se adapta a mi personalidad mejor; hacer más bocetos, cosas luminosas, muy luminosas, me gusta la cualidad de luminosidad que tiene el vidrio soplado antes de hacerse sólido. Y pintarlo, por supuesto, me permite en vez de hacer algo dejándolo completamente transparente, o transformarlo en algo totalmente distinto, dejarlo entre medias (de esos dos polos). Normalmente utilizo mucho estas dos técnicas, difícilmente utilizo muchos lenguajes de vidrio, y también combino el vidrio con otros materiales para completar mis ideas, como cerámica, piedra, madera.
3. No puedo responder a esa pregunta porque no analizo hasta esa profundidad. No analizo este material; cuando lo uso, funciona o no funciona, para mí no es un proceso lógico decidir acerca del uso de este material según sus propiedades. Cuando puedo tomar ese material, lo uso. Por eso no puedo responder la pregunta.
4. Creo que hay una importante cuestión acerca de por qué el vidrio no se ha integrado al arte. Creo que la respuesta es muy complicada porque las razones son varias. Una de ellas es que la mayoría del vidrio que se produce no es demasiado bueno, simplemente. Otra razón es la influencia del vidrio como material utilitario en la percepción de este material como algo sin valor artístico. También es importante que el vidrio en la escultura tiene una corta historia, y no está tan admitido como puedan estarlo la madera o la piedra. La historia de este material (igual que la de la cerámica o la joyería) no es bien conocida por el público, que sin embargo sí tiene referencias de piezas artísticas en otros materiales; cuando un artista desarrolla su obra haciendo referencia a la tradición histórica del vidrio basada en las artes decorativas, no es comprendida.

JIRI JAKUBA

1. Nací en el seno de una familia de tradición vidriera. Siempre el vidrio: mi padre, mi abuelo, mi bisabuelo... más o menos nací en ello. Para mí, siempre ha sido este material.
2. Cada vez encuentro más cosas interesantes en la antigüedad. Las primeras gentes tallaban en piedra y huesos, es algo muy fuerte, es un ejemplo de transformación de la naturaleza. En este siglo estamos descubriendo otras culturas, como las africanas, o el arte prehistórico. He visto una exposición de Picasso en Segovia, creo que era un pintor de su tiempo, y que estaba inmerso en el camino clásico, pero al mismo tiempo avanzaba más allá del siglo XIX buscando expresiones más fuertes y hallándolas en África y quizá en otras culturas, y ahora este cambio está alcanzando al vidrio también, creo que esta evolución tiene esta orientación formal.
3. Al vidrio a veces se le denomina una materia típica de nuestros días debido a su cualidad de transparencia, y la esta posibilidad hace que a veces no veas el vidrio, cuando trabajas con él tiene una cualidad un poco misteriosa. Creo que la diferencia entre el vidrio y otros materiales es su transparencia.

BIBLIOGRAFÍA

ALMAGRO-GORBEA, M. y ABASCAL, J.M. (1999): *Segóbriga y su conjunto arqueológico*. Real Academia de la Historia, Madrid.

BAYER, P. y WALLER, M. (1988): *The Art of Rene Lalique*. Grange Books, Londres.

BUBBICO, G.; CROUS, J., y G. (1999): *Technique e arte del vetro*. Ed. Demetra, Cologna ai Colli.

BULLSEYE GLASS CO. (2000): *10 Ways to Improve Your Cutting*. Boletín difundido en la página web de la empresa Bullseye.

CHANG, R. (1999): *Química*. McGraw Hill, México.

CHIHULY, D. (2000): *Chihuly Projects*, Portland Press, Seattle.

CITAV (Centro de Información Técnica de Aplicaciones del Vidrio): *Manual del vidrio*. Madrid, 1993

COOPER, E. (1984): *Manual de barnices cerámicos*. Ediciones Omega, Barcelona.

DAYTON, J.E. (1993): *The discovery of glass. Experiments in the smelting of Rich, Dry Silver Ores and the Reproduction of Bronze Age-Type Cobalt Blue Glass as a Slag*. American School of Prehistory Research, Bulletin 41, Harvard University.

DE LA CAMPA DEL ROSAL, O. (1988): "Vidrios de La Granja: naturaleza, fabricación y usos", en VV.AA. (1988): *Vidrio de La Granja*. Fundación Centro Nacional del Vidrio, La Granja.

DRAHOTOVÁ, O. (1990): *El arte del vidrio en Europa*. Libsa, Madrid.

DUVAL, C. (1966): *Le verre*. Presses Universitaires de France, Paris.

EISBERG, R. y LERNER, L. (1981): *Física. Fundamentos y aplicaciones*. Ed. McGraw-Hill, Madrid.

ELSKUS, A. (1980): *The Art of Painting on Glass*. The Glass Press, Pensilvania.

ENÉRIZ BOZAL, C.(1948): *Vidrio. Materias y fórmulas de fabricación*. Artes Gráficas Vernet, Barcelona

- ESCÁRZAGA, A. (1994): *Porcelana, cerámica y cristal*. Diccionarios Antiquaria, Madrid.
- FATÁS, G. y BORRÁS, G.M. (1990): *Diccionario de términos de arte y elementos de arqueología, heráldica y numismática*. Alianza Editorial, Madrid.
- FERNÁNDEZ NAVARRO (1991): *El vidrio*. CSIC y Fundación Centro Nacional del Vidrio. Madrid.
- FEUGERE, M. (1989): "Les vases en verre sur noyau d'argile en Méditerranée nord-occidentale", en FEUGERE, M., dir.(1989): *Le verre pré-romain en Europe Occidentale*, éditions Monique Mergoïl, Montagnac.
- FEUGERE, M., dir. (1989): *Le verre pré-romain en Europe Occidentale*, éditions Monique Mergoïl, Montagnac
- FORBES, R.J. (1966): *Studies In Ancient Technology*. Vol. 5. Leiden.
- FRANK, S. (1982): *Glass And Archaeology*. Studies in Archaeological Science, Academic Press, Londres.
- FRANTZ, S. K. (1989): *Contemporary Glass. A World Survey From The Corning Museum of Glass*. Harry N. Abrams Inc. Publishers, New York
- GANS, Raimonde (1975): *Tutankhamon*. Éditions Ferni, Ginebra
- GATEAU, C.H. (1980): *El vidrio*. Ediciones R. Torres, Barcelona.
- GERSTEIN, M., y WRIGLEY, L. (1997): *Creación de vitrales*. Blume, Barcelona.
- GOLDSTEIN, S.M. (1979): *Pre-Roman and Early Roman Glass in the Corning Museum of Glass*. The Corning Museum of Glass, Corning-Nueva York.
- GONZÁLEZ GARCÍA, J.L. (1998): " El coleccionismo de vidrio artístico español en los siglos XVI y XVII", en *Revista Boletín del Instituto Camón Aznar*, 1998, Zaragoza.
- HALEM, H. (1996): *Glass Notes. A Reference for the Glass Artist*. Franklin Mills Press, Kent.
- HARDEN, D.B. (1979): "Glass and Glazes", en SINGER, CH.; HOLMYARD, E.J.; HALL, A.R., y WILLIAMS, T.I. (eds., 1979): *A History of Technology: The Mediterranean Civilizations and The Middle Ages*. Clarendon Press Oxford.
- HAWORTH-MADEN, C. (1999): *Art Nouveau. Cristal y Cerámica*. Edimat Libros, Madrid.
- HAWORTH-MADEN, C. (2000): *Cristal del siglo XX*. Edimat Libros, Madrid.

HENDERSON, J. (1989): "The evidence for regional production of Iron Age glass in Britain", en FEUGERE, M., dir. (1989): *Le verre pré-romain en Europe Occidentale*, éditions Monique Mergoïl, Montagnac

HERO HERNÁNDEZ, A. (1962): *Fabricación y trabajo del vidrio*. Ed. Sintés, Barcelona

IMBRIGHI, G. (1994): *Transparence: vetro e materiali sintetici*. Ed. La Nuova Italia Scientifica, Roma.

JORGE GARCÍA-REYES, c. y LIMPO Y LLOFRIU, A. (1986): "La manufactura del vidrio en la comarca de San Martín de Valdeiglesias", en *Narria. Estudios de artes y costumbres populares*, nº 41-44, 1986, Madrid.

KOHLER, L. (1998): *Glass. An Artist's Medium*. Krause Publications, Iola.

LUNDSTROM, B. (1991), *Advanced Fusing Techniques*. Vitreous Publications, Camp Colton.

LUNDSTROM, B. y SCHWOERER, D. (1983): *Kiln Firing Glass, Book One*. Vitreous Publications, Camp Colton.

LYOTARD, F. (1984): *La condición posmoderna. Informe sobre el saber*. Editorial Cátedra, Madrid.

MALUQUER de MOTES, Juan y RAURET, Ana María (1989): *Tesoros de la Arqueología*. Salvat, Barcelona

MARCHÁN FIZ, S. dir. (1991): *Nacho Criado. Piezas de Agua y Cristal*. Museo Nacional Centro de Arte Reina Sofía, Madrid.

MARI, E. A. (1982): *Los vidrios. Propiedades, tecnologías de fabricación y aplicaciones*. Ed. Américalee, Buenos Aires.

MATTHES, W. E. (1990): *Vidriados cerámicos*. Ediciones Omega, Barcelona.

MAULDIN, J.H. (1991): *Luz, láser y óptica*. McGraw Hill, Madrid.

MC. GRATH, J. (1995): *Iniciación al esmaltado*. Hermann Blume, Madrid.

MIRBECK, X. (1992): *Technique du verre*. Dessain et Tolra, París.

MONTEBELLO, Philippe de (1987): *The Metropolitan Museum of Art*. Editado por The Metropolitan Museum of Art, Nueva York.

MOORMAN, S. (1990): *Warm Glass*. CKE Publications, Washington

MORTON, J.M. (1999): *Glass. An Inspirational Portfolio*. Watson-Guption Publications, Nueva York

ORTIZ PALOMAR, E. (2001): "Definición, tecnología y fabricación del vidrio antiguo", en VV.AA. (2001): *Vidrio romano en España. La revolución del vidrio soplado*. Real Fábrica de Cristales de La Granja.

ORÚS, F. (1985): *Materiales de construcción*. Ed. Dossat, Madrid.

PARROT, CHEHAB, MOSCATI, (1975): *Los Fenicios*.

PFAENDER, H. (1996): *Shott Guide to Glass*. Chapman and Hall, Londres

POTTER, N. y JACKSON, D. (2000): *Tiffany*, Chancellor Press, Londres

REYNOLDS, G. (1990): *The Fused Glass Handbook*. Fusion Headquarters, Portland

RODRÍGUEZ GARCÍA, J. (1995): "La *façon de Venise* en Castilla", en *Espacio, Tiempo y Forma, Serie IV, Hª Moderna*, t. 8, 1995.

SHELBY, J. (1997): *Introduction to Glass. Science and Technology*. Paperbacks, Cambridge.

SINGER, CH.; HOLMYARD, E.J.; HALL, A.R., y WILLIAMS, T.I. (eds., 1979): *A History of Technology: The Mediterranean Civilizations and The Middle Ages*. Clarendon Press Oxford.

STONE, G. (2000): *Firing Schedules for Glass*. The Kiln Companion, Melbourne

SUREDA, J. (1985): *Historia Universal del Arte, I. Las primeras civilizaciones. Prehistoria, Egipto, Próximo Oriente*. Planeta, Barcelona.

VAUDOUR, C. (1993): *L'art du verre contemporain*. Armand Colin Éditeur, Paris

VIGIL PASCUAL, M. (1966): *El vidrio en el mundo antiguo*. Instituto Español de Arqueología, Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Madrid, 1969.

VV.AA. (1986): *Le Louvre. 7 visages d'un musée*. Ministère de la Culture et de la Communication, Éditions de la Réunion des musées nationaux, París.

VV.AA. (1988): *Vidrio de La Granja*. Fundación Centro Nacional del Vidrio, La Granja.

VV.AA. (1992): *El mundo micénico. Cinco siglos de la primera civilización europea, 1600-1100 a.C.* Catálogo de la exposición. Museo Arqueológico Nacional, Madrid.

VV.AA. (1992): *Luciano Vistosi. Sculture*. Catálogo de la exposición, Centro Culturale Il Bisonte, Firenze, y Fundación Centro Nacional del Vidrio, La Granja.

VV.AA. (1996 a): *Física*. Reverté, Bilbao

VV.AA. (1996 b): *Historia de las civilizaciones. El amanecer de la civilización*. Larousse, Barcelona.

VV.AA. (1997 a): *Manual de recomendaciones prácticas en la fabricación de vidrio artesanal. Servicios comunes para las PYMES, artesanos y artistas vidrieros*. Ed. Fundación Centro Nacional del Vidrio, La Granja de San Ildefonso

VV.AA. (1997 b): *Museo Municipal de Arte en Vidrio de Alcorcón. Colección permanente*. Catálogo. Ayuntamiento de Alcorcón, Madrid.

VV.AA. (1998): *Manual del ceramista. Técnicas de la decoración*. Ediciones Daly, Málaga.

VV.AA. (1999): *Finlandia. Vanguardia en vidrio*. Catálogo de la Exposición. Fundación Centro Nacional del Vidrio, La Granja.

VV.AA. (2000): *Enciclopedia didáctica de Física y Química*. Ed. Océano, Barcelona.

VV.AA. (2001): *Vidrio romano en España. La revolución del vidrio soplado*. Real Fábrica de Cristales de La Granja.

VV.AA. (2003): *Aqua. Julia Ares. Catálogo de la Exposición. Junio-Agosto 2003*. Fundación Caixa Galicia, Pontevedra.

WALKER, B. (2000): *Contemporary Warm Glass*. Four Corners International, Clemmonds.

WILSON, David M. Editor (1991): *The Collections of the British Museum*. British Museum Press, Londres